

(19)日本国特許庁 (JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-113224

(43)公開日 平成9年(1997)5月2日

(51)Int.Cl. ⁹	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G01B 11/00			G01B 11/00	H
11/26			11/26	H
G01C 3/06			G01C 3/06	V

審査請求 未請求 請求項の数17 O L (全17頁)

(21)出願番号 特願平7-270381

(22)出願日 平成7年(1995)10月18日

(71)出願人 000005496

富士ゼロックス株式会社

東京都港区赤坂二丁目17番22号

(72)発明者 塚本 一之

神奈川県足柄上郡中井町境430 グリーン

テクノかい富士ゼロックス株式会社内

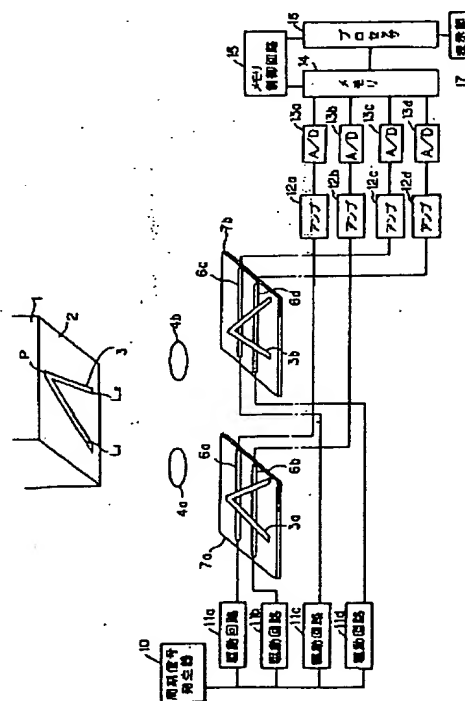
(74)代理人 弁理士 平田 忠雄

(54)【発明の名称】 3次元位置姿勢測定用マーク、及び3次元位置姿勢測定方法及び装置

(57)【要約】

【課題】 撮像ユニットの簡素化及びコストダウンを図ること。

【解決手段】 測定対象物1の対象表面2に形成され、平行でない2直線 L_1 、 L_2 を有するマーク3に基づくマーク像3a、3bを、1次元光センサ6a、6b、6c、6dが配置された結像面7a、7bに結像させて検出することによりマークの3次元での位置と姿勢を測定する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定の平面の領域内に形成され、1つの交点を提供する平行でない2つの線分を含み、前記1つの交点は位置測定の基準点であり、前記2つの線分は姿勢測定の基準線であることを特徴とする3次元位置姿勢測定用マーク。

【請求項2】 前記交点は、前記所定の領域内に提供される請求項第1項記載の3次元位置姿勢測定用マーク。

【請求項3】 前記交点は、前記所定の領域外に提供される請求項第1項記載の3次元位置姿勢測定用マーク。

【請求項4】 前記交点は、前記2つの線分、及び前記2つの線分と交わる少なくとも2つの検出ラインによって囲まれる領域の外側に提供される請求項第2項記載の3次元位置姿勢測定用マーク。

【請求項5】 前記交点は、前記2つの線分、及び前記2つの線分と交わる少なくとも2つの検出ラインによって囲まれる領域の内側に提供される請求項第2項記載の3次元位置姿勢測定用マーク。

【請求項6】 1つの交点を提供する平行でない2つの線分を含み、測定対象物の変位に応じて変位するマークを前記測定対象物にある第1の平面に形成し、第2の平面に少なくとも2つの1次元光センサを配置し、

前記マークに含まれる前記2つの線分の線分像を前記第2の平面に2方向に形成して前記少なくとも2つの1次元光センサに長さ方向の受光強度分布を表わす受光信号を発生させ、

前記受光信号に基づいて前記2つの線分像の前記少なくとも2つの1次元光センサ上の位置を演算し、

前記少なくとも2つの1次元光センサ上の位置に基づいて前記マークに含まれる2つの線分によって提供される前記交点の位置と、前記マークに含まれる前記2つの線分の姿勢を演算することを特徴とする3次元位置姿勢測定方法。

【請求項7】 前記マークは、前記測定対象物のエッジを前記2つの線分の少なくとも1つの線分として定義して行う請求項第6項記載の3次元位置姿勢測定方法。

【請求項8】 前記マークは、前記2つの線分の少なくとも1つの線分として定義される光透過用の開口を前記測定対象物に設けることにより行う請求項第6項記載の3次元位置姿勢測定方法。

【請求項9】 前記マークは、前記測定対象物と反射率が異なる材料を塗布、貼布、あるいは被覆して前記2つの線分の少なくとも1つの線分として定義して行う請求項第6項記載の3次元位置姿勢測定方法。

【請求項10】 前記マークは、前記測定対象物を光透過性にするとともに、前記測定対象物に前記測定対象物と光透過率が異なる材料を塗布、貼布、あるいは被覆して前記2つの線分の少なくとも1つの線分として定義して行う請求項第6項記載の3次元位置姿勢測定方法。

【請求項11】 前記少なくとも2つの1次元光センサは、第3、第4の平面にそれぞれ少なくとも2つ配置し、前記マークに含まれる前記2つの線分の線分像を前記第3、第4の平面にそれぞれ形成する3次元位置姿勢測定方法。

【請求項12】 測定対象物にある第1の平面に形成され、1つの交点を提供する平行でない2つの線分を含み、前記測定対象物の変位に応じて変位するマークと、第2の平面に前記マークに含まれる前記2つの線分の線分像を2方向に形成する像形成手段と、前記第2の平面に配置され、前記2つの線分の線分像に基づいて長さ方向の受光強度分布を表わす受光信号を出力する少なくとも2つの1次元光センサと、前記受光信号に基づいて前記2つの線分像の前記少なくとも2つの1次元光センサ上の位置を演算する第1の演算手段と、

前記少なくとも2つの1次元光センサ上の位置に基づいて前記マークに含まれる2つの線分によって提供される前記交点の位置と、前記マークに含まれる前記2つの線分の姿勢を演算する第2の演算手段を具備することを特徴とする3次元位置姿勢測定装置。

【請求項13】 前記マークは、前記2つの線分の少なくとも1つの線分が前記測定対象物のエッジによって構成される請求項第12項記載の3次元位置姿勢測定装置。

【請求項14】 前記マークは、前記2つの線分の少なくとも1つの線分が前記測定対象物に形成された光透過用の開口によって構成される請求項第12項記載の3次元位置姿勢測定装置。

【請求項15】 前記マークは、前記2つの線分の少なくとも1つの線分が前記測定対象物に前記測定対象物と反射率が異なる材料を塗布、貼布、あるいは被覆することによって構成される請求項第12項記載の3次元位置姿勢測定装置。

【請求項16】 前記測定対象物は光透過性の材料によって構成され、前記マークは、前記2つの線分の少なくとも1つの線分が前記測定対象物に前記光透過性の材料と異なる光透過性を有する材料を塗布、貼布、あるいは被覆することによって構成される請求項第12項記載の3次元位置姿勢測定装置。

【請求項17】 前記像形成手段は、前記2つの線分の線分像を第3、第4の平面にそれぞれ形成する構成を有し、前記少なくとも2つの1次元光センサは、第3、第4の平面にそれぞれ少なくとも2つ配置される構成を有する請求項第12項記載の3次元位置姿勢測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は3次元位置姿勢測定

用マーク、及び3次元位置姿勢測定方法及び装置に関し、特に、マニピュレータ、回転ベルト等の移動体の位置及び姿勢の測定において、簡素化およびコストダウンを図り、取扱性を改善した3次元位置姿勢測定用マーク、3次元位置姿勢測定方法及び装置に関する。

【0002】

【従来の技術】マニピュレータによって物体を把持、及び移動するとき、マニピュレータの位置及び姿勢を高速に、かつ、高い精度で測定しなければならない。従来の3次元位置姿勢測定装置として、ビジュアルフィードバック制御を行うために、テレビカメラ等の撮像手段を用いたものがある。この3次元位置姿勢測定装置によると、テレビカメラ等の撮像手段によって測定対象物を撮像して3次元の位置及び姿勢の情報を発生し、この3次元の位置及び姿勢を環境に固定した座標系に変換し、その座標系における目標位置へマニピュレータを移動させている。

【0003】このような3次元の位置及び姿勢を測定する方法として、測定対象物の3つの特徴点を2台の撮像手段で撮像するステレオ法による測定が一般に知られており、その他にも特開平3-135718号公報には2本の平行な直線をステレオ法によって撮像して3次元における位置と姿勢を把握する方法が開示されている。

【0004】しかし、この3次元位置姿勢測定装置によると、テレビカメラ等の撮像手段にはCCDの2次元センサが用いられており、1画面のデータ取り込み速度は1/30秒または1/60秒である。これは、マニピュレータのモータ制御装置のフィードバックのサイクルタイムが一般に1/1000秒以下であるのに比べて非常に遅く、高速な位置決め作業には適応できない。また、1画面の画素が500×500程度であるため、分解能が十分でなく、更に、処理すべき情報量が多いので、高速化のためには専用の処理回路が必要になってコストアップになる。

【0005】一方、測定対象物の基準位置を測定することにより、測定対象物の位置と姿勢を測定する位置測定装置が、特開昭64-18001号公報に開示されている。

【0006】特開昭64-18001号公報に示される位置測定装置は、測定対象物の基準位置に豆電球等の点光源を取り付け、この点光源を集光光学系によって集光し、集光された光ビームをビームスプリッタで分割し、分割された光ビームをそれぞれ直交する2方向の1次元センサで検出し、そのセンサ信号を対応する位置検出回路に入力して測定対象物の位置を測定している。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかし、特開昭64-18001号公報の位置測定装置によると、結像レンズ、かまぼこ型レンズ、ビームスプリッタを含む多種の光学部品が必要になるので、構成が複雑化し、コスト高

になる。また、豆電球等の点光源を必要とするので、壊れを防ぐために取り扱いに注意を必要とする。

【0008】従って、本発明の目的は、簡素化を図ることができる3次元位置姿勢測定用マーク、及び3次元位置姿勢測定方法及び装置を提供することにある。

【0009】本発明の他の目的は、コストダウンを図り、取り扱い性を改善することができる3次元位置姿勢測定用マーク、及び3次元位置姿勢測定方法及び装置を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は上記の目的を実現するため、第1の特徴として、所定の平面の領域内に形成され、1つの交点を提供する平行でない2つの線分を含み、前記1つの交点は位置測定の基準点であり、前記2つの線分は姿勢測定の基準線である3次元位置姿勢測定用マークを提供する。

【0011】上記の3次元位置姿勢測定用マークにおいて、交点は、所定の領域内に提供されても良く、また、所定の領域外に提供されても良く、また、2つの線分、及び2つの線分と交わる少なくとも2つの検出ラインによって囲まれる領域の外側に提供されても良く、また、2つの線分、及び2つの線分と交わる少なくとも2つの検出ラインによって囲まれる領域の内側に提供されても良い。

【0012】本発明は上記の目的を実現するため、第2の特徴として、1つの交点を提供する平行でない2つの線分を含み、測定対象物の変位に応じて変位するマークを前記測定対象物にある第1の平面に形成し、第2の平面に少なくとも2つの1次元光センサを配置し、前記マークに含まれる前記2つの線分の線分像を前記第2の平面に2方向に形成して前記少なくとも2つの1次元光センサに長さ方向の受光強度分布を表わす受光信号を発生させ、前記受光信号に基づいて前記2つの線分像の前記少なくとも2つの1次元光センサ上の位置を演算し、前記少なくとも2つの1次元光センサ上の位置に基づいて前記マークに含まれる2つの線分によって提供される前記交点の位置と、前記マークに含まれる前記2つの線分の姿勢を演算する3次元位置姿勢測定方法を提供する。

【0013】上記の3次元位置姿勢測定方法において、マークは、測定対象物のエッジを2つの線分の少なくとも1つの線分として定義して行っても良く、また、2つの線分の少なくとも1つの線分として定義される光透過用の開口を測定対象物に設けることにより行っても良く、また、測定対象物と反射率が異なる材料を塗布、貼布、あるいは被覆して2つの線分の少なくとも1つの線分として定義して行っても良く、また、測定対象物を光透過性にするとともに、測定対象物に測定対象物と光透過率が異なる材料を塗布、貼布、あるいは被覆して2つの線分の少なくとも1つの線分として定義して行っても

良い。また、少なくとも2つの1次元光センサは、第3、第4の平面にそれぞれ少なくとも2つ配置し、マークに含まれる2つの線分の線分像を第3、第4の平面にそれぞれ形成するようにしても良い。

【0014】本発明は上記の目的を実現するため、第3の特徴として、測定対象物にある第1の平面に形成され、1つの交点を提供する平行でない2つの線分を含み、前記測定対象物の変位に応じて変位するマークと、第2の平面に前記マークに含まれる前記2つの線分の線分像を2方向に形成する像形成手段と、前記第2の平面に配置され、前記2つの線分の線分像に基づいて長さ方向の受光強度分布を表わす受光信号を出力する少なくとも2つの1次元光センサと、前記受光信号に基づいて前記2つの線分像の前記少なくとも2つの1次元光センサ上の位置を演算する第1の演算手段と、前記少なくとも2つの1次元光センサ上の位置に基づいて前記マークに含まれる2つの線分によって提供される前記交点の位置と、前記マークに含まれる前記2つの線分の姿勢を演算する第2の演算手段を具備する3次元位置姿勢測定装置を提供する。

【0015】上記の3次元位置姿勢測定装置において、マークは、2つの線分の少なくとも1つの線分が測定対象物のエッジによって構成されるようにしても良く、また、2つの線分の少なくとも1つの線分が測定対象物に形成された光透過用の開口によって構成されるようにしても良く、また、2つの線分の少なくとも1つの線分が測定対象物に測定対象物と反射率が異なる材料を塗布、貼布、あるいは被覆することによって構成されるようにしても良い。また、測定対象物は光透過性の材料によって構成され、マークは、前記2つの線分の少なくとも1つの線分が測定対象物に光透過性の材料と異なる光透過性を有する材料を塗布、貼布、あるいは被覆することによって構成されても良い。像形成手段は、2つの線分の線分像を第3、第4の平面にそれぞれ形成する構成を有し、少なくとも2つの1次元光センサは、第3、第4の平面にそれぞれ少なくとも2つ配置される構成としても良い。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明の3次元位置姿勢測定用マーク、及び3次元位置姿勢測定方法及び装置を図面を参照しつつ説明する。

【0017】図1は、本発明の第1の形態例における3次元位置姿勢測定装置を示し、対象表面2にマーク3が形成された測定対象物1と、マーク3を含む対象表面2の反射光を集光する結像レンズ4a、4bと、2つの結像面7a、7bに配置され、結像レンズ4a、4bの集光によって形成されたマーク像3a、3bを撮像する1次元光センサ6a、6b及び6c、6dと、同期信号発生回路10から出力されるタイミング信号に基づいて1次元光センサ6a、6b、6c、6dを駆動する駆動回

路11a、11b、11c、11dと、1次元光センサ6a、6b、6c、6dから出力される光強度信号を増幅するアンプ12a、12b、12c、12dと、増幅された光強度信号をデジタル信号に変換するA/D変換器13a、13b、13c、13dと、デジタル信号に変換された光強度信号をメモリ制御回路15から出力される書き込み信号に基づいて記憶するためのメモリ14と、メモリ制御回路15から出力される読み出し信号に基づいてメモリ14から出力される光強度信号を入力して測定対象物1の3次元の位置と姿勢を演算するプロセッサ16と、プロセッサ16における3次元の位置及び姿勢の演算結果を表示する表示部17とを有する。

【0018】マーク3は、交点Pを有する平行でない直線 L_1 、 L_2 を有し、対象表面2と反射率が異なる塗料を表面に塗布するか、インクでシールなどに印刷したものを対象表面2に貼り付けて形成しても良く、あるいは対象表面2と反射率が異なる材質の部材を貼り付けて形成しても良い。本形態例では、白色の対象表面2の表面に黒色塗料を塗布してマーク3を形成している。

【0019】マーク3の直線 L_1 、 L_2 は3本以上あっても良く、そのうち条件を満たす2本に着目すれば良い。これらの直線は連続線、あるいは不連続線であっても良く、所定の長さの線分が定義されれば良い。

【0020】図1の構成において、測定対象物1は図示しない照明部から照射される光が反射することによって、対象表面2に設けられるマーク3の形状に基づくマーク像3a、3bが結像面7a、7bに形成される。即ち、このマーク像3a、3bは結像レンズ4a、4bによって集光されて1次元光センサ6a、6bが設けられる結像面7a、及び1次元光センサ6c、6dが設けられる結像面7bに結像する。1次元光センサ6a、6b、6c、6dは1次元CCDや受光素子アレイ等であり、結像面7a、7bに結像されるマーク像3a、3bが交差する位置の画素における光強度、及びその他の部分の光強度に基づいて受光レベルの分布を表わす光強度信号をアンプ12a、12b、12c、12dに出力する。アンプ12a、12b、12c、12dで増幅された光強度信号はA/D変換器13a、13b、13c、13dにおいてデジタル信号に変換される。メモリ制御回路15はプロセッサ16から出力される制御信号によって書き込み信号及び読み出し信号を出力し、書き込み信号に基づいてメモリ14に光強度信号をストアさせ、読み出し信号に基づいて光強度信号をプロセッサ16に出力させる。プロセッサ16はメモリ14から入力される光強度信号に基づいて測定対象物1の3次元における位置と姿勢を演算し、その演算結果を表示部17に出力させる。

【0021】図2は、物体座標系と結像面7a、7bにおける2次元座標系の対応関係を示し、仮想的に結像面7a、7bを主点 O_1 、 O_2 を有する結像レンズ（図示

せず)の前に配置した光学系構成としており、以下の記載においては説明を容易にするために、この光学系構成を用いて説明する。

【0022】物体座標を (x, y, z) 、1次元光センサ6a、6bが設けられる結像面7aでの2次元座標を (h_i, v_i) 、1次元光センサ6c、6dが設けられる結像面7bでの2次元座標を (h_{ii}, v_{ii}) として、

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} \end{bmatrix} \quad \text{--- (1)}$$

【0024】

$$B = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} & B_{14} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} & B_{24} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} & B_{34} \end{bmatrix} \quad \text{--- (2)}$$

と表される。

【0025】また、物体座標と結像面7a、7bにおけ

$$\begin{bmatrix} f h_i & f v_i & f \end{bmatrix}^T = C \begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix}^T \quad \text{--- (3)}$$

$$\begin{bmatrix} g h_{ii} & g v_{ii} & g \end{bmatrix}^T = B \begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix}^T \quad \text{--- (4)}$$

と表わすことができる。ここで、 $()^T$ は転置行列を表わす。

【0026】マーク3の直線 L_i 、 L_{ii} は、結像面7aに結像することによって交点 P_i 及び直線 L_{ii} 、 L_{ii} を有するマーク像3aを形成し、結像面7bに結像することによって交点 P_{ii} 及び直線 L_{ii} 、 L_{ii} を有するマーク像3bを形成する。

【0027】図3(a)は、結像面7aに形成されたマーク像3a、図3(b)は、結像面7bに形成されたマーク像3bを示し、1次元光センサ6a、6bとマーク像3aとが交わる点 A_{ii} と A_{ii} からマーク像3aの直線 L_{ii} が復元され、1次元光センサ6a、6bとマーク像3aとが交わる点 A_{ii} 、 A_{ii} からマーク像3aの直線 L_{ii} が復元される。結像面7bに形成されるマーク像3bについても同様に、1次元光センサ6c、6dとマーク像3bとが交わる点 D_{ii} と D_{ii} からマーク像3aの直線

1次元光センサ6a、6bを有する撮像ユニットのカメラパラメータをC、1次元光センサ6c、6dを有する撮像ユニットのカメラパラメータをBとすると、カメラパラメータC、Bは式(1)及び式(2)によって

【0023】

【数1】

【数2】

る2次元座標は、媒介変数 f 、 g を用いて

L_{ii} が復元され、1次元光センサ6c、6dとマーク像3bとが交わる点 D_{ii} 、 D_{ii} からマーク像3bの直線 L_{ii} が復元される。

【0028】図4は、結像面7aにおけるマーク像3aの直線 L_{ii} 、 L_{ii} の位置と1次元光センサ6a、6bの信号出力との関係を示し、マーク3の直線 L_i 、 L_i は一定の幅を持つ線であり、その像 L_{ii} 、 L_{ii} の部位ではセンサ値は低くなる。よって、マーク像3aの直線 L_{ii} 、 L_{ii} の位置 q_{ij} ($i=1, 2, j=1, 2$)は、図5に示すように、その近傍で適当な閾値I以下の範囲の画素データを用いて、例えば、斜線で示す部分の重心位置として求める。そのときの重心位置 q_{ij} は、例えば、式(1)で演算する。

【0029】

【数3】

$$q_{ij} = \frac{\sum (q (Db - D(q)))}{\sum (Db - D(q))} \quad \text{--- (5)}$$

ここで、 $D(q)$ は画素 q における出力値、 Db はバックグランドレベルを表わす。

$$\begin{bmatrix} h_i & v_i \end{bmatrix}^T = q \begin{bmatrix} a_{ii} & b_{ii} \end{bmatrix}^T + \begin{bmatrix} c_{ii} & d_{ii} \end{bmatrix}^T \quad (i=1, 2) \quad \text{--- (6)}$$

(ここで、 $\begin{bmatrix} a_{ii} & b_{ii} \end{bmatrix}^T$ は大きさが画素ピッチの方向ベクトル、 $\begin{bmatrix} c_{ii} & d_{ii} \end{bmatrix}^T$ は1次元光センサの端の画素の中心座標、 q は画素番号である。)と表されるとき、1次元光センサ6a、6b上のマーク像3aの位置は、式(2)により結像面7aでの2次元座標 (h_i, v_i)

【0030】また、 i 番目の1次元光センサが結像面7aでの2次元座標系で

v_i に変換される。よって、 $A_{ii} \sim A_{ii}$ は $q_{ii} \sim q_{ii}$ を式(2)に代入することにより得られる。そして、 A_{ii} を (h_{ii}, v_{ii}) とすると、直線 L_{ii} 、 L_{ii} の結像面7aにおける直線の方程式は

$$L_{11} : (h_{11} - h_{10}) (v_1 - v_{10}) = (v_{11} - v_{10}) (h_1 - h_{10}) \quad \text{--- (7)}$$

$$L_{12} : (h_{12} - h_{10}) (v_1 - v_{10}) = (v_{12} - v_{10}) (h_1 - h_{10}) \quad \text{--- (8)}$$

となる。 $D_{11} \sim D_{12}$ についても同様の演算を行うことによって、直線 L_{11} 、 L_{12} の結像面 7 b における直線の方程式を得ることができる。

【0031】次に、上記の過程で求めたマーク像 3 a、3 b の直線 L_{11} 、 L_{12} 、 L_{21} 、 L_{22} に基づいてマーク 3 の直線 L_1 、 L_2 の交点 P の位置を求める。求め方にはいくつかの方法があるが、例えば、マーク 3 の直線 L_{11} 、 L_{12} の物体座標系における直線の方程式を求め、その交点を演算しても良い。しかし、撮像時の撮像素子による読み取り誤差やモデル誤差等により、演算される直線 L_{11} 、 L_{12} は、ねじれの関係になることがある。このような場合には直線 L_{11} 、 L_{12} が最も接近する直線 L

、 L_2 上の位置の中間点を交点 P とすることも考えられる。

【0032】マーク 3 の直線 L_{11} 、 L_{12} の交点 P の位置を求める他の方法として、結像面 7 a、7 b の 2 次元座標系における直線 L_{11} 、 L_{12} の交点 P_1 、直線 L_{21} 、 L_{22} の交点 P_2 から三角測量の原理に基づいて交点 P を求める方法がある。以下、三角測量の原理に基づく交点 P の演算方法を説明する。

【0033】まず、対象表面 2 の物体座標と結像面 7 a、7 b の 2 次元座標の関係式である式 (3) を展開する。

$$f h_1 = C_{11} x + C_{12} y + C_{13} z + C_{14} \quad \text{--- (9)}$$

$$f v_1 = C_{21} x + C_{22} y + C_{23} z + C_{24} \quad \text{--- (10)}$$

$$f = C_{31} x + C_{32} y + C_{33} z + C_{34} \quad \text{--- (11)}$$

(9) - f × (11) 及び (10) - f × (11) より

$$0 = (C_{11} - C_{31} h_1) x + (C_{12} - C_{32} h_1) y + (C_{13} - C_{33} h_1) z + (C_{14} - C_{34} h_1) \quad \text{--- (12)}$$

$$0 = (C_{21} - C_{32} v_1) x + (C_{22} - C_{32} v_1) y + (C_{23} - C_{33} v_1) z + (C_{24} - C_{34} v_1) \quad \text{--- (13)}$$

を得る。また、式 (4) を展開して

$$g h_1 = B_{11} x + B_{12} y + B_{13} z + B_{14} \quad \text{--- (14)}$$

$$g v_1 = B_{21} x + B_{22} y + B_{23} z + B_{24} \quad \text{--- (15)}$$

$$g = B_{31} x + B_{32} y + B_{33} z + B_{34} \quad \text{--- (16)}$$

(14) - g × (16) 及び (15) - g × (16) より

$$0 = (B_{11} - B_{31} h_1) x + (B_{12} - B_{32} h_1) y + (B_{13} - B_{33} h_1) z + (B_{14} - B_{34} h_1) \quad \text{--- (17)}$$

$$0 = (B_{21} - B_{32} v_1) x + (B_{22} - B_{32} v_1) y + (B_{23} - B_{33} v_1) z + (B_{24} - B_{34} v_1) \quad \text{--- (18)}$$

を得る。式 (12) (13) (17) (18) のうち、

【0034】

例えば、式 (12) (13) (17) を用いて

【数4】

$$F = \begin{bmatrix} C_{24} h_L - C_{14} \\ C_{34} v_L - C_{24} \\ B_{34} h_R - B_{14} \end{bmatrix}, \quad V = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

【0035】

【数5】

$$Q = \begin{bmatrix} C_{11} - C_{31} h_L & C_{12} - C_{32} h_L & C_{13} - C_{33} h_L \\ C_{21} - C_{32} v_L & C_{22} - C_{32} v_L & C_{23} - C_{33} v_L \\ B_{11} - B_{31} h_R & B_{12} - B_{32} h_R & B_{13} - B_{33} h_R \end{bmatrix}$$

とすると

$$F = QV \quad \text{--- (19)}$$

となり、 (h_i, v_i) を P_i の座標、 (h_i, v_i) を P_i の座標とすると、 Q の逆行列が存在するとき

$$V = Q^{-1}F \quad \text{--- (20)}$$

となるので、交点 P の3次元での位置が求められる。

【0036】式(12)(13)(17)(18)に基づいて3式を選ぶ方法は4通りあるが、それぞれについて式(20)を演算し、最後に4通りの平均を取ることで交点 P を求めても良い。

【0037】次に、3次元における測定対象物1の姿勢を求める方法を説明する。3次元での測定対象物1の姿勢はロール、ピッチ、ヨー角及びオイラー角等で表わすことができ、マーク3の直線 L_i の方向ベクトル r_i と

$$h_i = (C_{ii}x + C_{ij}y + C_{ik}z + C_{ii}) / (C_{ii}x + C_{ij}y + C_{ik}z + C_{ii}) \quad \text{--- (21)}$$

$$v_i = (C_{ii}x + C_{ij}y + C_{ik}z + C_{ii}) / (C_{ii}x + C_{ij}y + C_{ik}z + C_{ii}) \quad \text{--- (22)}$$

となり、これらをマーク像3aの直線 L_{ii} の方程式 (7) に代入して整理すると

$$F_{ii} : a_{ii}x + b_{ii}y + c_{ii}z + d_{ii} = 0 \quad \text{--- (23)}$$

$$a_{ii}x = n_i (C_{ii} - v_{ii} C_{ii}) - m_i (C_{ii} - h_{ii} C_{ii})$$

$$b_{ii}y = n_i (C_{ii} - v_{ii} C_{ii}) - m_i (C_{ii} - h_{ii} C_{ii})$$

$$c_{ii}z = n_i (C_{ii} - v_{ii} C_{ii}) - m_i (C_{ii} - h_{ii} C_{ii})$$

$$d_{ii} = n_i (C_{ii} - v_{ii} C_{ii}) - m_i (C_{ii} - h_{ii} C_{ii})$$

$$n_i = h_{ii} - h_{ii}$$

$$m_i = v_{ii} - v_{ii}$$

となり、このことから平面 F_{ii} の法線ベクトル f_{ii} は (a_{ii}, b_{ii}, c_{ii}) と求められる。同様に演算することによって平面 F_{ii} , F_{ii} , F_{ii} の法線ベクトル f_{ii} , f_{ii} , f_{ii} が求められる。

【0040】ところで、マーク3の直線 L_i は、平面 F_{ii} と平面 F_{ii} の交線であることから、方向ベクトル r_i は平面 F_{ii} と平面 F_{ii} の法線ベクトル f_{ii} , f_{ii} に対して垂直となるので

$$r_i = f_{ii} \times f_{ii} \quad \text{--- (24)}$$

として求められ、同様に、マーク3の直線 L_i は、平面 F_{ii} と平面 F_{ii} の交線であることから、方向ベクトル r_i は平面 F_{ii} と平面 F_{ii} の法線ベクトル f_{ii} , f_{ii} に対して垂直となるので

$$r_i = f_{ii} \times f_{ii} \quad \text{--- (25)}$$

として求められる。また、対象表面2の法線ベクトル q

$$r_{ii} = \cos(\theta_i) \cos(\theta_i) \quad \text{--- (27)}$$

$$r_{ii} = \sin(\theta_i) \cos(\theta_i) \quad \text{--- (28)}$$

$$r_{ii} = -\sin(\theta_i) \quad \text{--- (29)}$$

$$q_i = \cos(\theta_i) \sin(\theta_i) \cos(\theta_i) + \sin(\theta_i) \sin(\theta_i) \quad \text{--- (30)}$$

$$q_i = \sin(\theta_i) \sin(\theta_i) \cos(\theta_i) - \cos(\theta_i) \sin(\theta_i) \quad \text{--- (31)}$$

$$q_i = \cos(\theta_i) \cos(\theta_i) \quad \text{--- (32)}$$

式(29)を変形することによって、ピッチ θ_i は $50 \quad \theta_i = -\sin^{-1}(r_{ii})$

直線 L_i の方向ベクトル r_i を特定することによって求めることができる。以下に、方向ベクトル r_i 及び r_i の求め方を説明する。

【0038】図2において、平面 F_{ii} はレンズ主点 O_i を通り、マーク像3aの直線 L_{ii} 及びマーク3の直線 L_i を含む平面、平面 F_{ii} はレンズ主点 O_i を通り、マーク像3aの直線 L_{ii} 及びマーク3の直線 L_i を含む平面、平面 F_{ii} はレンズ主点 O_i を通り、マーク像3bの直線 L_{ii} 及びマーク3の直線 L_i を含む平面、平面 F_{ii} はレンズ主点 O_i を通り、マーク像3bの直線 L_{ii} 及びマーク3の直線 L_i を含む平面である。方向ベクトル r_i を求めるにあたって、平面 F_{ii} の方程式を求める。

【0039】まず、式(3)より f を消去すると

は、方向ベクトル r_i 及び r_i に対して垂直となることから

$$q = r_i \times r_i \quad \text{--- (26)}$$

30 として求められる。

【0041】次に、上記の過程で求めた対象表面2の法線ベクトル q 及び直線 L_i の方向ベクトル r_i に基づいて、測定対象物1の3次元における姿勢(ロール、ピッチ、ヨー角)を演算する過程を以下に説明する。

【0042】方向ベクトル r_i の単位ベクトル r_{ii} (r_{ii} , r_{ii} , r_{ii}) (ただし $r_{ii} > 0$) が x 軸と平行になるとき、及び法線ベクトル q の単位法線ベクトル q (q_i , q_i , q_i) (ただし $q_i > 0$) が z 軸と平行となるときのマーク3の姿勢を基準の姿勢とすると、

40 以下の関係式が得られる。

$$\text{--- (33)}$$

式(27)及び式(28)より、ロール θ_r は

$$\theta_r = \tan^{-1}(r_{11}/r_{12}) \quad \text{--- (34)}$$

$$\cos(\theta_r) = q_1 / \cos(\theta_t) \quad \text{--- (35)}$$

式(35)を式(30)に代入するとともに、式(3

θ_r を代入することによって、ヨー角 θ_y は

3)で求めたピッチ θ_p 、及び式(34)で求めたロール

$$\theta_y = \sin^{-1}\{(q_1 - q_1 \cdot \cos(\theta_r) \tan(\theta_p)) / \sin(\theta_r)\} \quad \text{--- (36)}$$

として求めることができる。

【0043】図6は、プロセッサ16における演算処理過程を示すフローチャートであり、ステップ S_1 , S_2 , S_3 , S_4 , S_5 でマーク3の位置を求めることができ、ステップ S_6 , S_7 , S_8 , S_9 , S_{10} でマーク3の姿勢を求めることができる。

【0044】マーク3の形状は、図7(a)に示すように、直線 L_1 , L_2 は離れていてその延長線上に交点(図示せず)があっても良く、図7(b)に示すように、交差した形であっても良い。また、マーク3の直線 L_1 , L_2 は1次元光センサによる読み取りライン18a, 18bにおいて直線と検知されれば良いことから、図7(c)に示すように、不連続であっても良い。また、図7(d)に示すように、直線 L_1 , L_2 をくり抜いたように形成したマークでも良い。また、図7(e)に示すように、輪郭線を直線 L_1 , L_2 として使用するマーク3を形成しても良い。また、溝や凸部によってマーク3を形成しても良い。また、直線状の光源を使用したり、蛍光塗料を塗布して形成しても良い。また、測定対象物1が光透過性であれば、光透過率の異なる材料の部材でマーク3を形成しても良い。更に、測定する対象が、板状のように薄い部材であれば、マーク3の替わりに開口を設け、測定対象物1を挟み、撮像ユニット5と反対側から光を照射して漏れてくる光を検出しても良い。

【0045】図8は、図7(e)に示すマークの輪郭線を直線 L_1 , L_2 とみなして撮像ユニット(図示せず)によって撮像し、交点 P_1 を有する2つの直線 L_{11} , L_{12} よりなるマーク像3aとして利用するものであり、1次元光センサ6a, 6bの信号出力レベルに所定の閾値Iを設けることによってマーク像3aの直線位置 q_{11} ~ q_{12} を検出する。図4と共通する部分については共通する引用数字及び引用符号を附しているため、重複する説明は省略する。

【0046】図9は、平行でない直線状のエッジ L_1 , L_2 を有する測定対象物1を撮像ユニット5a, 5bで撮像するようにしたものであり、エッジ像 L_{11} , L_{12} , L_{21} , L_{22} を1次元光センサ6a, 6b, 6c, 6dで検出することによって測定対象物1のエッジ L_1 , L_2 をマークの代わりとすることができる。

【0047】図10は、結像面7における1次元光センサ6a, 6bの配置の変形例を示し、(a)のように1次元光センサ6a, 6bを非平行に配置したり、(b)

更に、式(32)を変形し

のように直交して配置する構成としても良い。

【0048】図11は、1次元光センサ6a, 6bの配置の他の変形例を示す。(a)では、直線 L_{11} が1次元光センサ6a, 6bに結像し、直線 L_{12} が1次元光センサ6b, 6cに結像している。(b)では、直線 L_{11} が1次元光センサ6a, 6bに結像し、直線 L_{12} が1次元光センサ6c, 6dに結像している。(c)では、直線 L_{11} が1次元光センサ6a, 6bに結像し、直線 L_{12} が1次元光センサ6b, 6cに結像している。(d)では、交点 P_1 が1次元光センサ6a, 6bによって形成される領域内に位置している。一方、(b)では交点 P_1 が1次元光センサ6a, 6bによって形成される領域外に位置している。

【0049】図12は、結像レンズ4aによって結像されるマーク像3aと、結像レンズ4bによって結像されるマーク像3bとを結像面7に設けられる1次元光センサ6a, 6bによって検出する3次元位置姿勢測定装置の変形例を示す。図1と共通する部分については共通する引用数字及び引用符号を附しているため、重複する説明は省略する。

【0050】次に、マーク像3aの直線 L_{11} , L_{12} の交点 P_1 の検出精度を検討する。例えば、図13に示すように、結像面7aでの2次元座標系において、1次元光センサ6a, 6bが $v_1 = 1$ 及び $v_1 = -1$ 、直線 L_{11} , L_{12} の交点が(0, w)、直線 L_{11} が1次元光センサ6bとなす角度が45度、直線 L_{12} , L_{11} のなす角度が90度とし、このときの交点 P_1 の座標(h_1 , v_1)の検出精度を検討する。

【0051】1次元光センサ6a, 6bにおける直線 L_{11} , L_{12} の検出誤差が、平均零、標準偏差 σ_i の正規分布にそれぞれ従うとき、交点 P_1 の座標(h_1 , v_1)の検出誤差をシミュレートすると、それらの標準偏差 σ_h , σ_v は

【0052】

【数6】

$$\frac{\sigma_h}{\sigma_s} = \frac{\sigma_v}{\sigma_s} = \frac{\sqrt{w^2 + 1}}{2}$$

と近似される。

【0053】図14にこのグラフを示す。 $w=0$ のとき、つまり交点 P_1 が1次元光センサ6a, 6bの中心にあるほど検出精度が高いことが示されている。直線 L_{11} の傾きや直線 L_{12} , L_{11} のなす角の値が異なる場合で

も、 σ_1 、 σ_2 の絶対値は異なるが、交点 P_1 が1次元光センサ6a、6bの中心にあるほど検出精度が高いという特徴は同様である。また、1次元光センサ6a、6bが平行になっていない場合でも、同じように直線 L_{11} 、 L_{12} の交点 P_1 が比較的内側にあるほど検出精度が高い。このことも、シミュレーションにより確認された。

【0054】次に、図15に示すように、結像面7aでの2次元座標系において、1次元光センサ6a、6b、6cが $v_1 = 1$ 、 $h_1 = -1$ 及び $h_1 = 1$ 、直線 L_{11} 、 L_{12} の交点が $(0, w)$ 、直線 L_{11} が1次元光センサ6aとなす角度が45度、直線 L_{11} と L_{12} のなす角度が90度、のときの交点 P_1 の座標 (h_1, v_1) の検出精度を検証する。

【0055】1次元光センサ6a、6b、6cにおける直線 L_{11} 、 L_{12} の位置の検出誤差が、平均零、標準偏差 σ_1 の正規分布にそれぞれ従うとき、交点 P_1 の座標 (h_1, v_1) の検出誤差をシミュレートする。

【0056】図16は、それらの標準偏差 σ_1 、 σ_2 を示す。この場合も直線 L_{11} 、 L_{12} の交点 P_1 が内側にあるほど検出精度が高い。

【0057】以上のように、1次元光センサが2つの場合も、3つの場合でも、マーク像の直線の交点位置の検出精度を少しでも高めるには、図11(c)、(d)に示すようにマーク像の直線の交点が1次元光センサの内側になるように、マーク像及び1次元光センサを設定する必要がある。また、3次元の位置の演算は、左右のマーク像の交点位置のデータを用いて行うため、測定精度を向上させるために、マーク像の直線の交点が1次元光センサで囲まれる領域の内側になるように、マーク及び1次元光センサを配置することが望ましい。

【0058】図17は、本発明の第2の形態における3次元位置姿勢測定装置を示し、この3次元位置姿勢測定装置は光を透過する材質で構成され、対象表面2に交点Pを持った直線 L_1 、 L_2 を有するマーク3が形成される測定対象物1と、測定対象物1に向けて2方向から光を照射する光源21a、21bと、受光面20に1次元光センサ6a、6bが平行に配置される1次元イメージ入力部19と、1次元光センサ6a、6bから出力される1次元イメージデータに基づいてマーク3の位置及び姿勢を演算する演算部9を有する。

【0059】マーク3は、測定対象物1と透過率が異なり、1次元光センサ6a、6b上で光量分布の変化としてマーク位置が検出できれば良く、例えば、透過率の低い塗料を塗布することによって形成されている。光源21a、21bは、ランプ22a、22bから照射される光を投光レンズ23a、23bで平行光として測定対象

物1に照射する。1次元イメージ入力部19は、光源21a、21bから照射される光によって形成されるマーク像3a、3bを受光面20で受光する。受光面20に設けられている1次元光センサ6a、6bは投影されるマーク像3a、3bの直線 L_{11} 、 L_{12} 、 L_{21} 、 L_{22} が横切るように配置されている。演算部9は、1次元イメージ入力部とのインターフェイス機能を備えたマイクロコンピュータ等である。また、第2の形態における3次元位置姿勢測定装置のシステムブロック図は、図12と共通していることから、重複する説明を省略する。

【0060】次に、第2の形態における3次元位置姿勢測定装置によって、3次元の位置と姿勢を演算する方法について説明する。

【0061】図18は、マーク3が形成されている測定対象物1と、1次元光センサ6a、6bが設けられる受光面20との3次元座標系における位置関係を示し、xy平面は受光面20上に定義している。光源21a、21b(いずれも図示せず)から照射される光に基づいて受光面20に投影されるマーク像3a、3bの方向は、方向ベクトル $k(k_1, k_2, k_3)$ 、 $m(m_1, m_2, m_3)$ と平行な方向であるものとする。

【0062】次に、投影されたマーク像3a、3bの直線 L_{11} 、 L_{12} 、 L_{21} 、 L_{22} の方程式を求める。1次元光センサ6a、6bは、図4に示したように、マーク像3a、3bの直線 L_{11} 、 L_{12} 、 L_{21} 、 L_{22} と交差する位置の光量に応じた検出信号を出力する。この1次元光センサ6a、6bの検出信号に基づいて、受光面20の1次元光センサの直線の方程式とマーク像3a、3bの直線 L_{11} 、 L_{12} 、 L_{21} 、 L_{22} とが交わる位置 $A_{11} \sim A_{12}$ 及び $D_{11} \sim D_{12}$ を求め、 A_{11} と A_{12} から直線 L_{11} を復元し、 A_{11} と A_{12} から直線 L_{12} を復元し、 D_{11} と D_{12} から直線 L_{21} を復元し、 D_{11} と D_{12} から直線 L_{22} を復元する。

【0063】次に、復元された直線 L_{11} 、 L_{12} 、 L_{21} 、 L_{22} から対象表面2におけるマーク3の直線 L_1 、 L_2 の交点P(x, y, z)の位置を求める。まず、マーク像3aの直線 L_{11} 、 L_{12} の交点を $P_1(x_1, y_1)$ 、マーク像3bの直線 L_{21} 、 L_{22} の交点を $P_2(x_2, y_2)$ とすると、方向ベクトル k とベクトル PP_1 は平行であるので、以下の関係式

$$k_1/k_2 = z/(x-x_1) \quad \text{--- (37)}$$

$$k_1/k_3 = z/(y-y_1) \quad \text{--- (38)}$$

が得られる。また、方向ベクトル m とベクトル PP_2 は平行であるので、以下の関係式

$$m_1/m_2 = z/(x-x_2) \quad \text{--- (39)}$$

$$m_1/m_3 = z/(y-y_2) \quad \text{--- (40)}$$

が得られる。式(37)(38)(39)(40)の連立方程式を解くと

$$x = (k_1 \cdot m_1 \cdot x_1 - k_1 \cdot m_1 \cdot x_2) / (k_1 \cdot m_1 - k_1 \cdot m_1) \quad \text{--- (41)}$$

$$y = (k_1 \cdot m_1 \cdot x_1 - k_1 \cdot m_1 \cdot x_2) / (k_1 \cdot m_1 - k_1 \cdot m_1)$$

--- (42)

$$z = k_1 \cdot m_1 (x_1 - x_2) / (k_1 \cdot m_1 - k_2 \cdot m_2)$$

--- (43)

あるいは

$$z = k_1 \cdot m_1 (x_1 - x_2) / (k_1 \cdot m_1 - k_2 \cdot m_2)$$

--- (44)

となって交点Pの位置が求められる。

【0064】次に、マーク3の姿勢の求め方を以下に説明する。マーク像3a, 3bの直線 L_{11} , L_{12} , L_{13} , L_{14} の方向ベクトルをそれぞれ t_{11} , t_{12} , t_{13} , t_{14} とすると、対象表面2の法線ベクトル q 、マーク3の直線 L_1 の方向ベクトル r_1 、マーク3の直線 L_2 の方向ベクトル r_2 は、以下の式

$$r_1 = (t_{11} \times k) \times (t_{12} \times m) \quad \text{--- (44)}$$

$$r_2 = (t_{13} \times k) \times (t_{14} \times m) \quad \text{--- (45)}$$

$$q = r_1 \times r_2 \quad \text{--- (46)}$$

によって求められる。

【0065】更に、法線ベクトルを $q(q_x, q_y, q_z)$ (ただし $q_z > 0$)、マーク3の直線 L_1 の方向ベクトル r_1 を (r_{1x}, r_{1y}, r_{1z}) (ただし $r_{1z} > 0$)として、法線ベクトル q が z 軸と平行で、マーク3の直線 L_1 が y 軸と平行なときのマーク3の姿勢を基準の姿勢とすると、各座標軸回りの傾きは、第1の実施の形態で示した式(21)(22)(23)によって求めることができる。

【0066】図19は、演算部9における演算処理過程を示すフローチャートであり、ステップ $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ でマーク3の位置を求めることができ、ステップ $S_7, S_8, S_9, S_{10}, S_{11}, S_{12}$ でマーク3の姿勢を求めることができる。

【0067】以上の形態例では、測定対象物1に反射光を利用する場合、あるいは測定対象物1の透過光を利用する場合であっても、マークが形成される対象表面は1次元光センサで検出される範囲において平面である必要がある。しかし、対象表面が完全な平面でなくとも、例えば、緩やかな曲面であっても、曲面の度合いに応じた精度でマークの3次元における位置及び姿勢の測定を行うことは可能である。

【0068】

【発明の効果】以上説明した通り、本発明の3次元位置姿勢測定用マーク、及び3次元位置姿勢測定方法及び装置によると、対象表面に設けられ、1つの交点を提供する平行でない2つの線分を含むマークに応じて少なくとも2本の1次元光センサで検出される少なくとも2つのマーク像に基づいて3次元における位置と姿勢を演算するようにしたため、3次元位置姿勢測定装置の簡素化を図るとともにコストダウンを図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態における3次元位置姿勢測定装置を示す説明図である。

【図2】物体座標系と結像面における2次元座標系との関係を示す説明図である。

【図3】結像面に形成されるマーク像を示す説明図である。

【図4】第1の実施の形態の結像面における1次元光センサとマーク像の直線の位置の関係を示す説明図である。

【図5】第1の実施の形態における重心の算出の説明図である。

【図6】第1の実施の形態において3次元の位置と姿勢を演算するフローチャートである。

【図7】第1の実施の形態におけるマークの変形例を示す説明図である。

【図8】第1の実施の形態においてマークの輪郭線を直線として使用する変形例を示す説明図である。

【図9】マークとして測定対象物のエッジを利用する変形例において、結像面における1次元光センサとマーク像の直線の位置関係を示す説明図である。

【図10】(a)及び(b)は結像面における1次元光センサの配置の変形例を示す説明図である。

【図11】(a)～(d)はマークの読み取り形態の変形例を示す説明図である。

【図12】撮像ユニットの変形例を示す説明図である。

【図13】マーク像の直線の交点の位置と2つの1次元光センサの位置関係を示す説明図である。

【図14】図13におけるマーク像の直線の交点の位置と交点位置検出誤差の標準偏差のグラフである。

【図15】マーク像の直線の交点の位置と3つの1次元光センサの位置関係を示す説明図である。

【図16】図15におけるマーク像の直線の交点の位置と交点位置検出誤差の標準偏差のグラフである。

【図17】本発明の第2の実施の形態における3次元位置姿勢測定装置を示す説明図である。

【図18】第2の実施の形態における受光面の1次元光センサとマーク像の直線の位置関係を示す説明図である。

【図19】第2の実施の形態において3次元の位置と姿勢を演算するフローチャートである。

【符号の説明】

1, 測定対象物

2, 対象表面

3, マーク

3a, 3b, マーク像

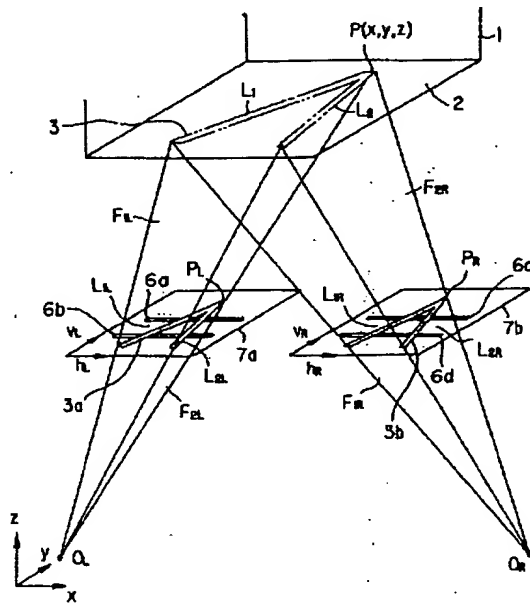
4a, 4b, 結像レンズ

- 5 a, 5 b, 撮像ユニット
 6 a, 6 b, 6 c, 6 d, 1次元光センサ
 7 a, 7 b, 結像面
 9, 演算部
 10, 同期信号発生器
 11 a, 11 b, 11 c, 11 d, 駆動回路
 12 a, 12 b, 12 c, 12 d, アンプ
 13 a, 13 b, 13 c, 13 d, A/D変換器
 14, メモリ
 15, メモリ制御回路

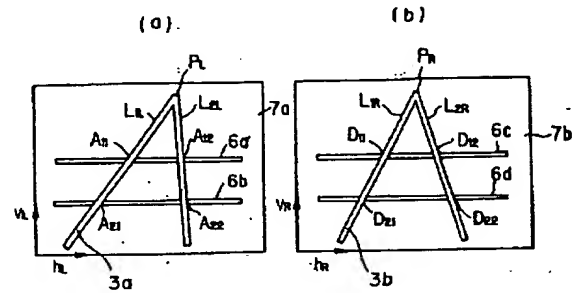
- 16, プロセッサ
 17, 表示部
 18 a, 18 b, 18 c, 読み取りライン
 19, 1次元イメージ入力部
 20, 受光面
 L_1, L_2 , マークの直線
 L_1', L_2' , マーク像の直線
 P , マークの交点
 P' , マーク像の交点

10

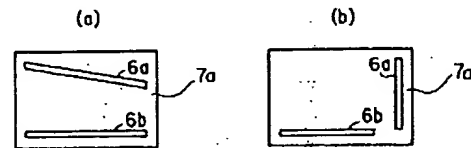
【図2】



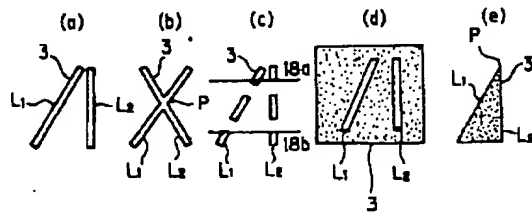
【図3】



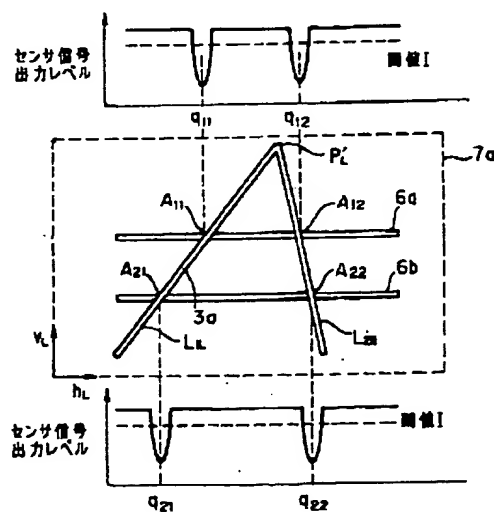
【図10】



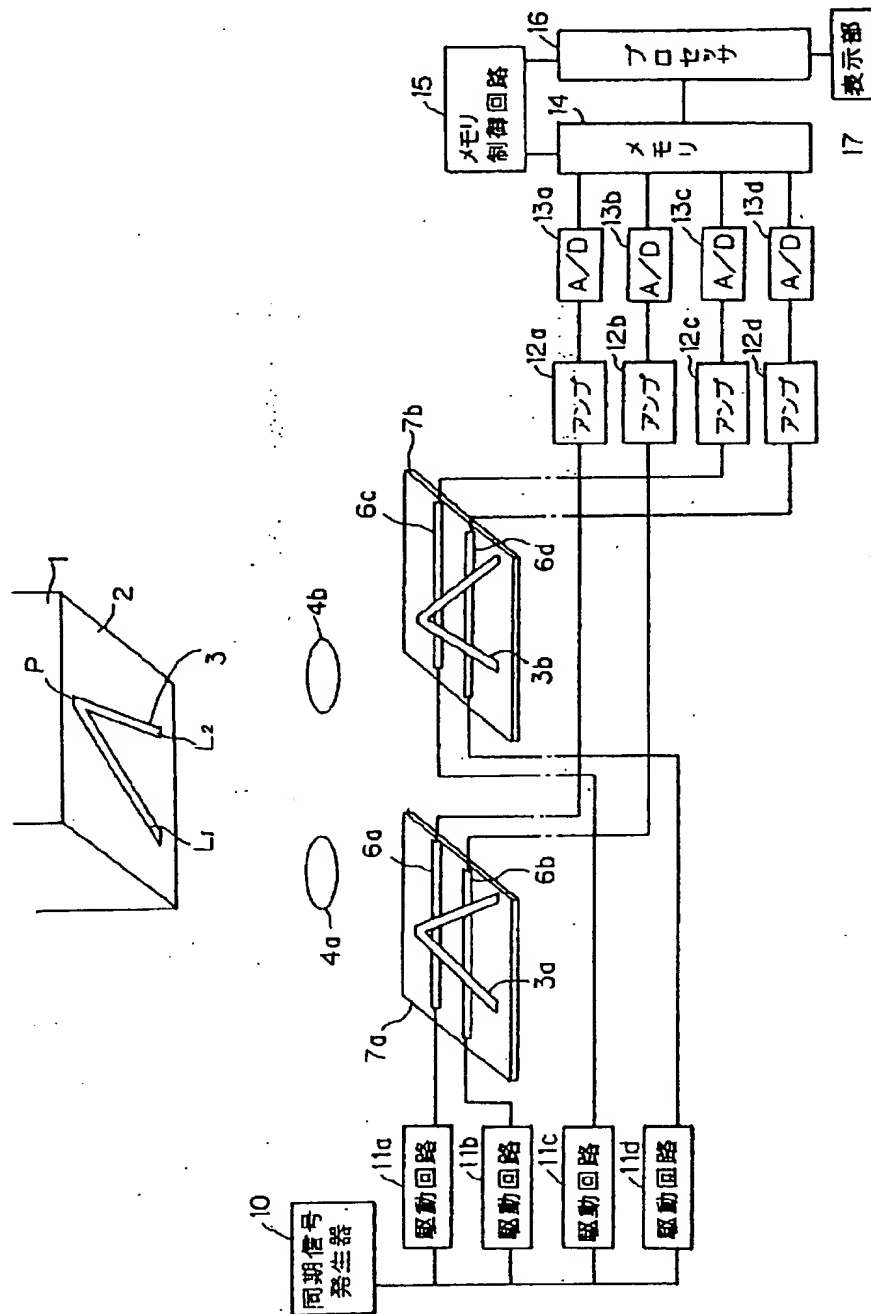
【図7】



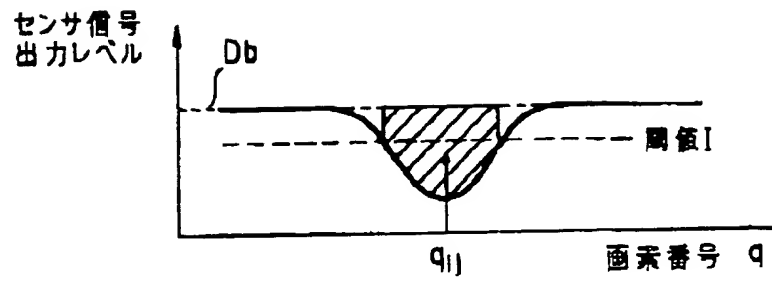
【図4】



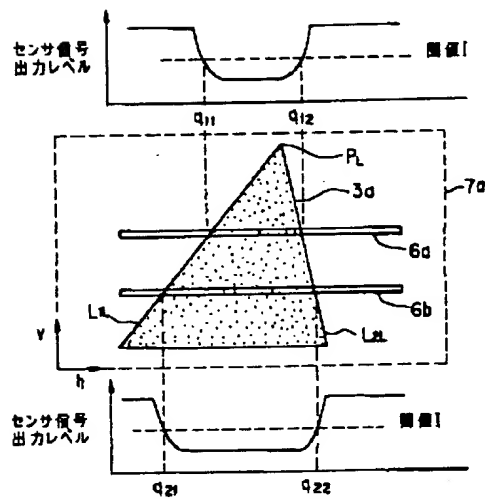
【图 1】



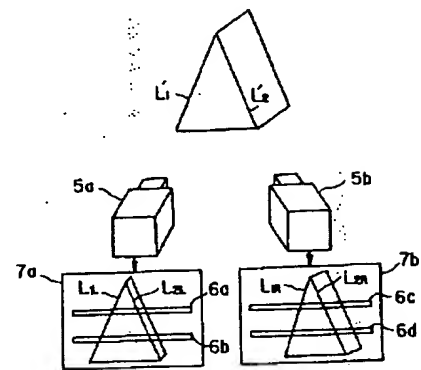
【図5】



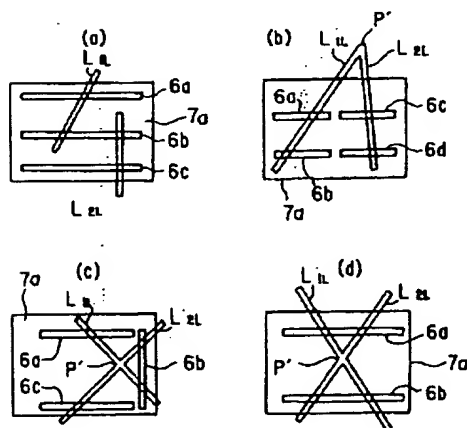
【図8】



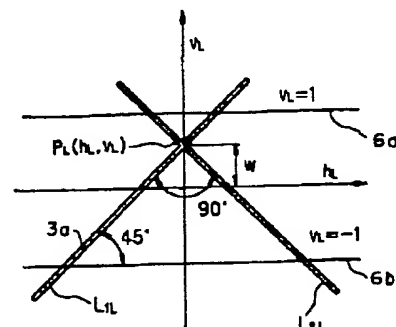
【図9】



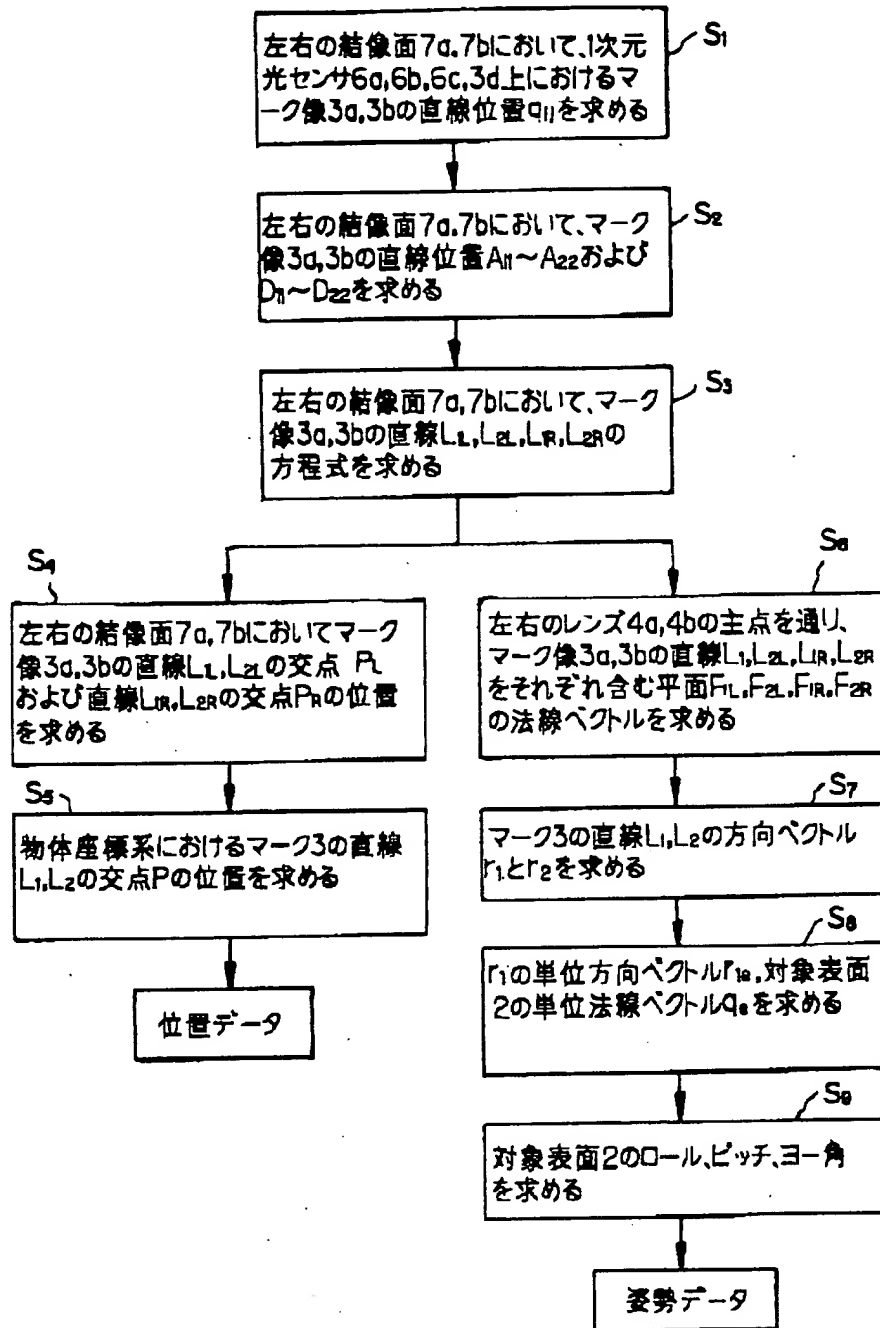
【図11】



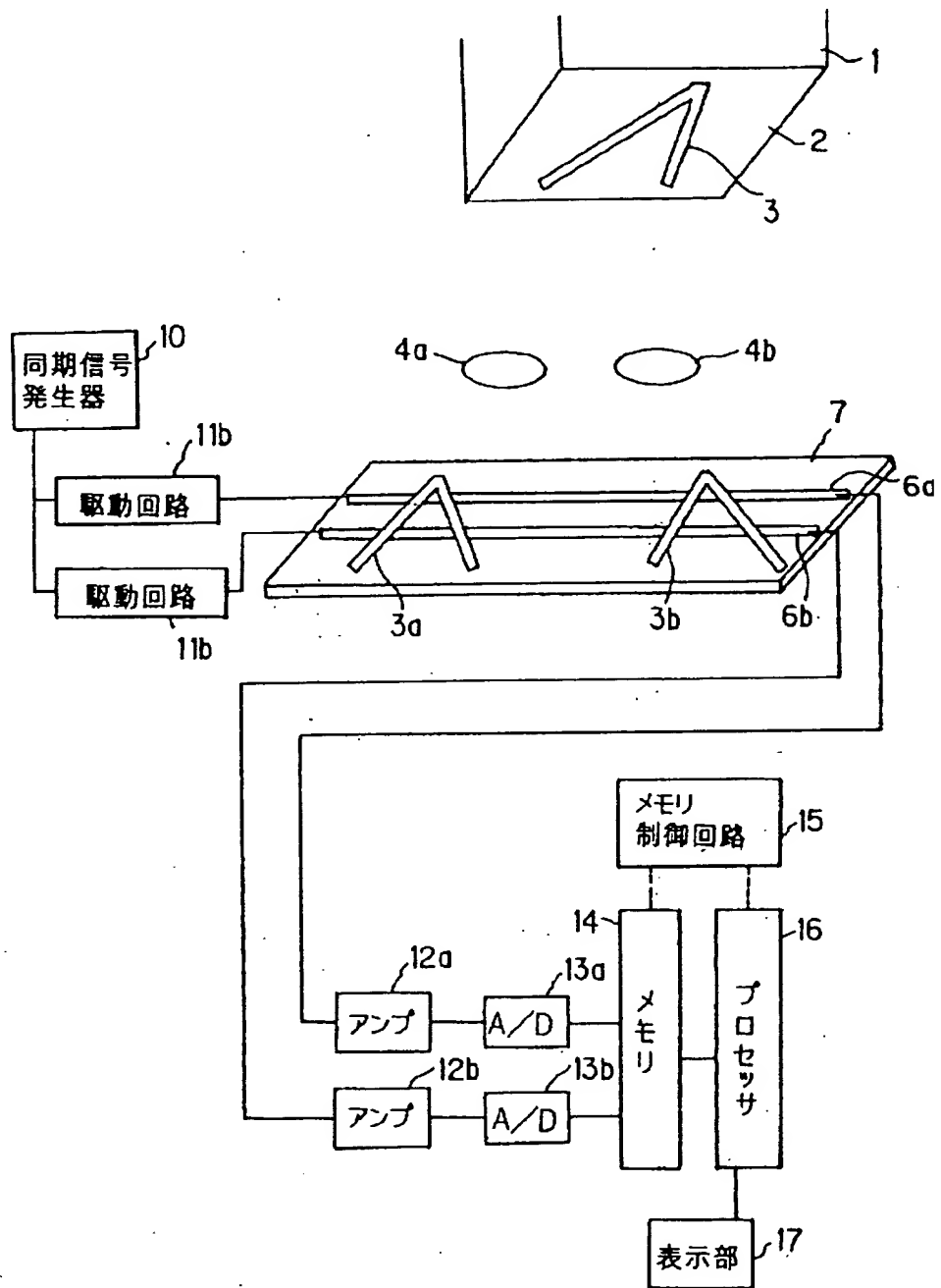
【図13】



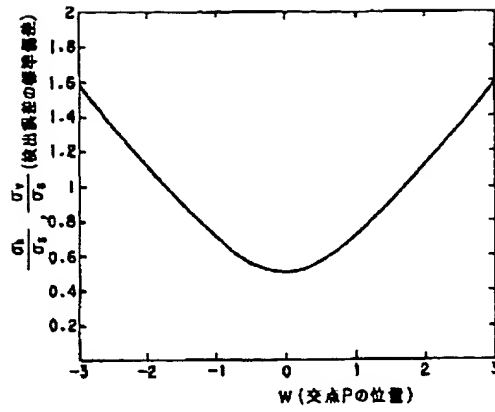
【図 6】



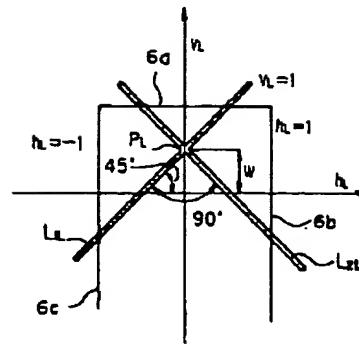
【図 12】



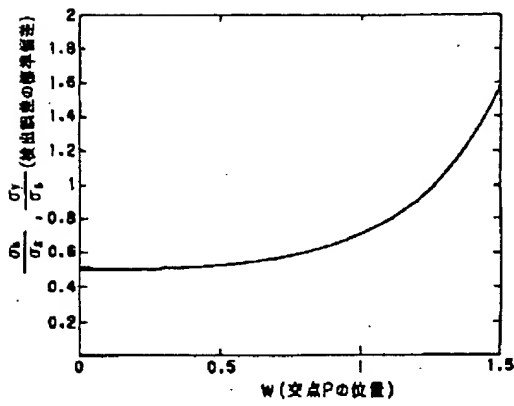
【図14】



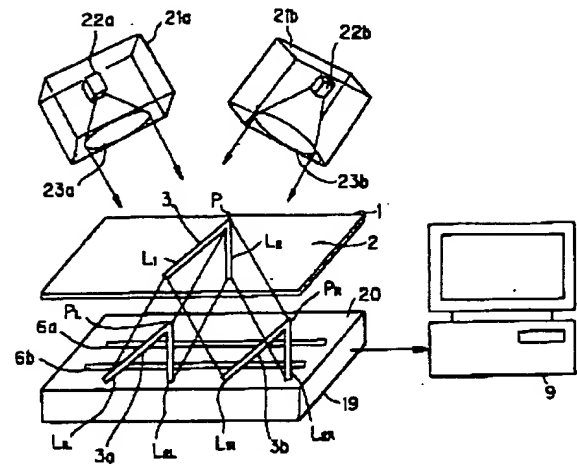
【図15】



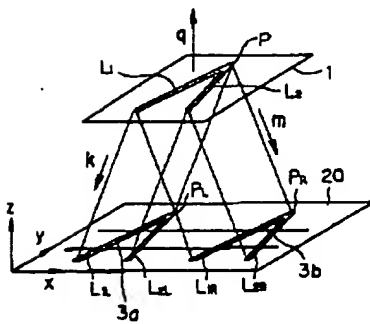
【図16】



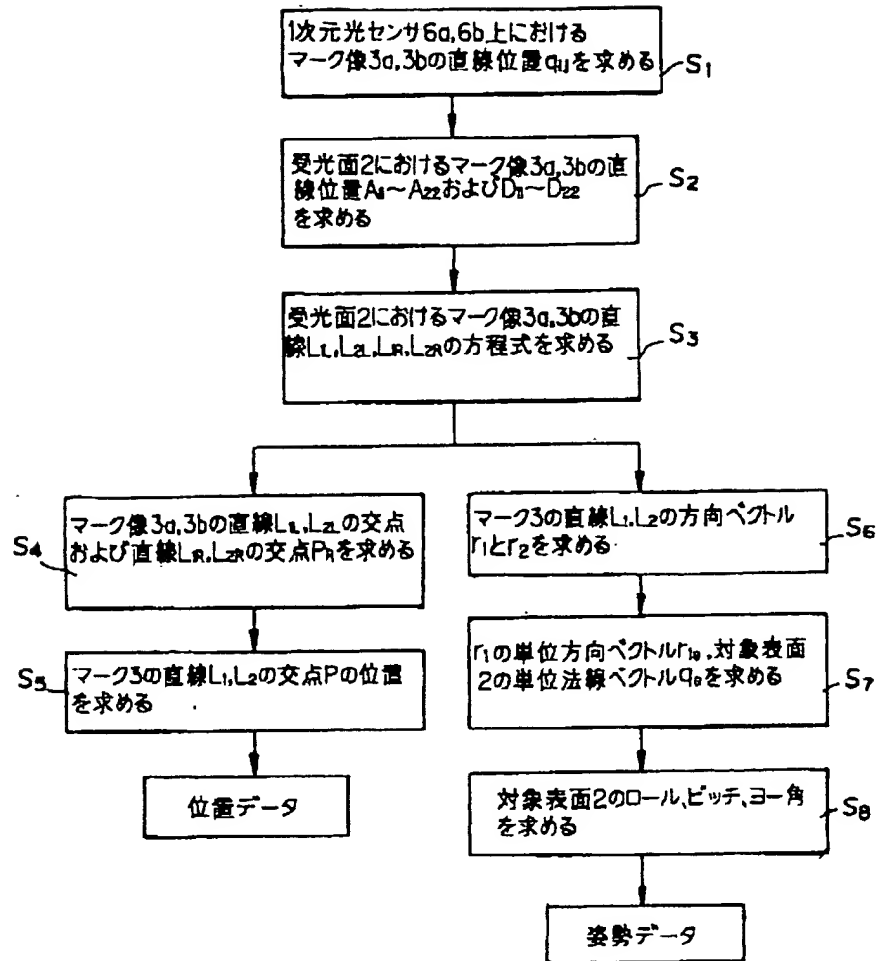
【図17】



【図18】



【図19】



Date: October 20, 1999

Declaration

I, Megumi Odawara, a translator of Fukuyama Sangyo Honyaku Center, Ltd., of 16-3, 2-chome, Nogami-cho, Fukuyama, Japan, do solemnly and sincerely declare that I understand well both the Japanese and English languages and that the attached document in English is a full and faithful translation, of the copy of Japanese Laid-open Patent No. Hei-9-113224 laid open on May 2, 1997.

M. Odawara

Megumi Odawara

Fukuyama Sangyo Honyaku Center, Ltd.

3D Position and Posture Measuring Mark and 3D Position and
Posture Measuring Method and Device

Japanese Laid-open Patent No. Hei-9-113224

Laid open on: May 2, 1997

Application No. Hei-7-270381

Filed on: October 18, 1995

Inventor: Kazuyuki TSUKAMOTO

Applicant: Fuji Xerox Co., Ltd.

Patent Attorney: Tadao HIRATA

SPECIFICATION

[TITLE OF THE INVENTION] 3D Position and Posture Measuring Mark
and 3D Position and Posture Measuring Method and Device

[ABSTRACT]

[Theme] To simplify an imaging unit and reduce its cost.

[Solution Means] Mark images 3a and 3b, which are formed at
object surface 2 of measuring object 1 and based on mark 3 having
two straight lines L_1 and L_2 not parallel to each other, are
formed and detected on image forming surfaces 7a and 7b on which
one-dimensional optical sensors 6a and 6b are disposed, whereby
the 3D position and posture of the mark are measured.

[WHAT IS CLAIMED IS;]

[Claim 1] A 3D position and posture measuring mark, wherein two line segments, which are formed within a range of a predetermined plane, form one intersection, and are not parallel to each other, are included, and the one intersection is a reference point for positional measurement, and the two line segments are reference lines for posture measurement.

[Claim 2] A 3D position and posture measuring mark as set forth in Claim 1, wherein the intersection is provided within the predetermined range.

[Claim 3] A 3D position and posture measuring mark as set forth in Claim 1, wherein the intersection is provided outside the predetermined range.

[Claim 4] A 3D position and posture measuring mark as set forth in Claim 2, wherein the intersection is provided outside a range surrounded by two segments and at least two optical sensor lines intersecting the two line segments.

[Claim 5] A 3D position and posture measuring mark as set forth in Claim 2, wherein the intersection is provided inside a range surrounded by two line segments and at least two sensor lines intersecting the two line segments.

[Claim 6] A 3D position and posture measuring method, wherein a mark, which includes two line segments which are not parallel to each other and form one intersection, and is displaced in

accordance with the displacement of a measuring object, is formed on a first plane at the measuring object, at least two one-dimensional optical sensors are disposed on a second plane,

images of the two line segments included in the mark are formed on the second plane in two directions, and at least the two one-dimensional optical sensors are caused to generate light receiving signals indicating distribution of received light intensity in the length direction,

the positions of the images of the two line segments on at least the two one-dimensional optical sensors are operated on the basis of the light receiving signals, and

the position of the intersection formed by the two line segments included in the mark and the postures of the two line segments included in the mark are operated on the basis of the positions of at least the two one-dimensional optical sensors.

[Claim 7] A 3D position and posture measuring method as set forth in Claim 6, wherein, in the mark, the edge of the measuring object is defined as at least one of the two line segments.

[Claim 8] A 3D position and posture measuring method as set forth in Claim 6, wherein, in the mark, an opening for light transmittance defined as at least one of the two line segments is provided at the measuring object.

[Claim 9] A 3D position and posture measuring method as set forth in Claim 6, wherein, in the mark, a material which differs in light reflectance from the measuring object is applied, adhered, or covered and defined as at least one of the two segments.

[Claim 10] A 3D position and posture measuring method as set forth in Claim 6, wherein, in the mark, the measuring object is made light transmittable, and a material which differs in light transmittance from the measuring object is applied, adhered, or covered on the measuring object, and defined as at least one of the two line segments.

[Claim 11] A 3D position and posture measuring method, wherein at least the two one-dimensional optical sensors are disposed on each third and fourth plane, and the images of the two line segments included in the mark are formed at the third and fourth planes, respectively.

[Claim 12] A 3D position and posture measuring device comprising:

a mark which is formed on a first plane at a measuring object, includes two line segments which are not parallel to each other and forms one intersection, and is displaced in accordance with the displacement of the measuring object;

an image forming means for forming the images of the two line

segments included in the mark at a second plane in two directions;

at least two one-dimensional optical sensors which are disposed on the second plane, and output light receiving signals indicating distribution of received light intensity in the length direction on the basis of the images of the two line segments;

a first operating means for operating the positions of the two line segments on at least the two one-dimensional sensors on the basis of the light receiving signals;

a second operating means for operating the position of the intersection formed by the two line segments included in the mark and the postures of the two line segments included in the mark on the basis of the positions of at least the two one-dimensional optical sensors.

[Claim 13] A 3D position and posture measuring device as set forth in Claim 12, wherein, in the mark, at least one of the two line segments is comprised of the edge of the measuring object.

[Claim 14] A 3D position and posture measuring device as set forth in Claim 12, wherein the mark is comprised of an opening for light transmittance in which at least one of the two line segments are formed at the measuring object.

[Claim 15] A 3D position and posture measuring device as set forth in Claim 12, wherein, in the mark, at least one of the two line segments is formed by applying, adhering, or covering onto it a material having light reflectance differing from that of the measuring object.

[Claim 16] A 3D position and posture measuring device as set forth in Claim 12, wherein the measuring object is formed from a light transmittable material, and the mark is arranged so that at least one of the two line segments is applied, adhered, or covered with a material having light transmittance differing from that of the measuring object.

[Claim 17] A 3D position and posture measuring method as set forth in Claim 12, wherein the image forming means having an arrangement in that the images of the two line segments are formed on the third and fourth planes, respectively, and at least the two one-dimensional optical sensors are disposed at each third and fourth plane.

[DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION]

[0001]

[Field of the Invention] The present invention relates to a 3D position and posture measuring mark and 3D position and posture measuring method and device, and in particular, a 3D position and posture measuring mark and 3D position and posture

measuring method and device which are simplified, reduced in cost, and improved in handling performance in measuring of the position and posture of a manipulator and rotary belt, etc.

[0002]

[Prior Arts] When holding and moving an object by using a manipulator, the position and posture of the manipulator must be measured at a high speed and with high precision. There is a prior-art 3D position and posture measuring device which uses an image pickup means such as a TV camera, etc., for visual feedback control. By this 3D position and posture measuring device, the image of a measuring object is picked-up by the image pickup means such as a TV camera, etc., to generate information about the 3D position and posture, and these 3D positions and postures are converted into a frame of reference fixed in an environment, and the manipulator is moved to a target position in this frame of reference.

[0003] As a measuring method of such a 3D position and posture, a measurement by a stereo system in which the images of three characteristic points of a measuring object are picked-up by two image pickup means is generally known, and in addition, in Japanese Laid-open Patent Publication No. Hei-3-135718, a method is disclosed whereby the images of two parallel straight lines are picked-up by the stereo system to grasp the 3D

position and posture.

[0004] However, by this 3D position and posture measuring device, a 2-dimensional CCD sensor is used for the image pickup means such as a TV camera, etc., wherein the speed to take-in data of one screen is 1/30 seconds or 1/60 seconds. This is extremely slow in comparison with the feedback cycle time of the motor controller of the manipulator generally being 1/1000 seconds or less, therefore, this cannot be adapted to a high speed positioning operation. Also, since the pixels of one screen are approximately 500 x 500, the resolution is not sufficient, and furthermore, since the information amount to be processed is large, an exclusive processing circuit is required in order to increase the operation speed, resulting in an increase in cost.

[0005] On the other hand, a position measuring device, by which the position and posture of a measuring object are measured by measuring the reference position of the measuring object, is disclosed in Japanese Laid-open Patent Publication No. Sho-64-18001.

[0006] By the position measuring device disclosed in Japanese Laid-open Patent Publication No. Sho-64-18001, a spot light source such as a miniature light bulb is attached at the reference position of the measuring object, and light from this

spot light source is converged by a converging optical system, the converged light beam is split by a beam splitter, the split light beams are detected by one-dimensional sensors in two orthogonal directions, respectively, and its sensor signal is inputted into a corresponding position detecting circuit, whereby the position of the measuring object is measured.

[0007]

[Themes to be Solved by the Invention] However, in the position measuring device of Japanese Laid-open Patent Publication No. Sho-64-18001, since various optical parts including an image forming lens, semicylindrical lens, beam splitter, etc., are required, the arrangement becomes complicated, and cost increases. Also, since a spot light source such as a miniature light bulb is required, careful handling is needed to prevent it from being broken.

[0008] Therefore, the object of the invention is to provide a 3D position and posture measuring mark and a 3D position and posture measuring method and devices by which simplification is realized.

[0009] Another object of the invention is to provide a 3D position and posture measuring mark, and 3D position and posture measuring method and device whose cost can be reduced and handling performance can be improved.

[0010]

[Means for Solving Themes] In order to realize the above objects, as the first aspect of the invention, a 3D position and posture measuring mark is provided which is formed within a range of a predetermined plane, includes two line segments which form one intersection and are not parallel to each other, wherein the one intersection is a reference point for position measurement, and the two line segments are reference lines for posture measurement.

[0011] In the abovementioned 3D position and posture measuring mark, the intersection can be provided within a predetermined range, outside the predetermined range, outside a range surrounded by the two line segments and at least two sensor lines intersecting the two line segments, or inside a range surrounded by the two line segments and at least two sensor lines intersecting the two line segments.

[0012] In order to realize the above objects, the second aspect of the invention, a 3D position and posture measuring method is provided, in which a mark which includes two line segments not parallel to each other forming one intersection, and is displaced in accordance with the displacement of a measuring object is formed at a first plane at the measuring object, at least two one-dimensional optical sensors are disposed at the

second plane, the images of the two line segments included in the mark are formed at the second plane in two directions, at least the two one-dimensional optical sensors are caused to generate light receiving signals indicating distribution of received light intensity in the length direction, the positions of the images of the two line segments on at least the two one-dimensional sensors are operated on the basis of the light receiving signals, and the position of the intersection formed by the two line segments included in the mark and the postures of the two line segments included in the mark are operated on the basis of the positions of at least the two one-dimensional optical sensors.

[0013] In the abovementioned 3D position and posture measuring method, the mark can be arranged so that the edge of the measuring object is defined as at least one of the two line segments, an opening for light transmittance defined as at least one of the two line segments is provided at the measuring object, a material which differs in light reflectance from the measuring object is applied, adhered, or covered to be defined as at least one of the two line segments, or the measuring object is made light transmittable, and applied, adhered, or covered with a material which differs in light transmittance from the measuring object to be defined as at least one of the two line

segments. Also, at least two one-dimensional optical sensors are disposed at each third and fourth plane, and the images of the two line segments included in the mark can be formed at the third and forth planes, respectively.

[0014] In order to realize the above objects, as the third aspect of the invention, a 3D position and posture measuring device is provided which comprises a mark which is formed at the first plane at the measuring object, includes two line segments not parallel to each other forming one intersection, and is displaced in accordance with the displacement of the measuring object, an image forming means for forming the images of the two line segments included in the mark at the second plane, at least two one-dimensional optical sensors which are disposed at the second plane and outputs light receiving signals indicating distribution of received light intensity in the length direction on the basis of the images of the two line segments, a first operating means for operating the positions of the images of the two line segments on at least the two one-dimensional optical sensors on the basis of the light receiving signals, a second operating means for operating the position of the intersection formed by the two line segments included in the mark and the postures of the two line segments included in the mark.

[0015] In the abovementioned 3D position and posture measuring device, the mark can be arranged so that at least one of the two line segments is comprised of the edge of the measuring object, at least one of the two line segments is comprised of an opening for light transmittance formed at the measuring object, or at least one of the two line segments is comprised of the measuring object applied, adhered, or covered with a material which differs in light reflectance from the measuring object. Also, the measuring object can be formed from a light transmittable material, and the mark can be arranged so that a material which differs in light transmittance from the measuring object is applied, adhered, or covered onto the measuring object to comprise at least one of the two line segments. The image forming means may have an arrangement in which the images of the two line segments are formed at each third and fourth plane, and at least the two one-dimensional optical sensors are disposed at each third and fourth plane.

[0016]

[Preferred Embodiment of the invention] Hereinafter, the 3D position and posture measuring mark and 3D position and posture measuring method and device of the invention shall be described with reference to the drawings.

[0017] Fig. 1 shows a 3D position and posture measuring device

in a first embodiment of the invention, which comprises measuring object 1 with mark 3 formed at object surface 2, image forming lenses 4a and 4b for converging light reflected from the object surface 2 including mark 3, one-dimensional optical sensors 6a, 6b, 6c, and 6d which are disposed on two image forming surfaces 7a and 7b and pickup the mark images 3a and 3b formed by the converged light of the image forming lenses 4a and 4b, drive circuits 11a, 11b, 11c, and 11d which drive the one-dimensional optical sensors 6a, 6b, 6c, and 6d on the basis of the timing signals outputted from synchronization signal generating circuit 10, amplifiers 12a, 12b, 12c, and 12d for amplifying optical intensity signals outputted from the one-dimensional optical sensors 6a, 6b, 6c, and 6d, A/D converters 13a, 13b, 13c, and 13d for converting the amplified light intensity signals into digital signals, memory 14 for storing the light intensity signals converted into digital signals on the basis of write-in signals outputted from memory control circuit 15, processor 16 which inputs the light intensity signals outputted from the memory 14 on the basis of read-out signals outputted from the memory control circuit 15 to operate the 3D position and posture of the measuring object 1, and display 17 for displaying the operating results of the 3D position and posture in the processor 16.

[0018] The mark 3 has straight lines L_1 and L_2 which are not parallel to each other and form intersection P, and a mark can be formed so that a paint which differs in reflectance from the object surface 2 is applied on the surface, a seal, etc., wherein ink printed is adhered on the object surface 2, or a material which differs in reflectance from the object surface 2 is adhered on the surface. In the present embodiment, black paint is applied on the surface of the white object surface 2, whereby the mark 3 is formed.

[0019] The number of straight lines L_1 and L_2 of the mark 3 can be 3 or more, and among them, only two straight lines satisfying the conditions are referred. These straight lines can be continuous or discontinuous lines, and the important point is that line segments of predetermined lengths can be defined.

[0020] In the arrangement of Fig. 1, the measuring object 1 reflects light radiated from an unillustrated illumination part, whereby the mark images 3a and 3b based on the shape of the mark 3 provided at the object surface 2 are formed on the image forming surfaces 7a and 7b. That is, the mark images 3a and 3b are converged by the image forming lenses 4a and 4b, and formed on the image forming surface 7a provided with the one-dimensional optical sensors 6a and 6b and image forming surface 7b provided with the one-dimensional optical sensors

6c and 6d. The one-dimensional optical sensors 6a, 6b, 6c, and 6d are one-dimensional CCD or light receiving element arrays, etc., which output light intensity signals indicating distribution of the light receiving level to the amplifiers 12a, 12b, 12c, and 12d on the basis of the light intensity of the pixel at the intersecting position of the mark images 3a and 3b formed on the image forming surfaces 7a and 7b, and light intensity at the other position. The light intensity signals amplified by the amplifiers 12a, 12b, 12c, and 12d are converted into digital signals by the A/D converters 13a, 13b, 13c, and 13d. The memory control circuit 15 outputs write-in signals and read-out signals by the control signals outputted from the processor 16, causes the memory 14 to store the light intensity signals on the basis of the write-in signals, and causes the processor 16 to output the light intensity signals on the basis of the read-out signals. The processor 16 operates the 3D position and posture of the measuring object 1 on the basis of the light intensity signals inputted from the memory 14, and causes the display 17 to output the operation results. [0021] Fig. 2 shows the corresponding relationship between the object frame of reference and a 2-dimensional frame of reference at the image forming surfaces 7a and 7b, wherein the image forming surfaces 7a and 7b are formed as an imaginary

optical system arrangement disposed in front of the image forming lenses (not illustrated) having principal points O_L and O_R , and in the description below, for ease in explanation, this optical system arrangement is used.

[0022] The object coordinates are (x, y, z) , 2-dimensional coordinates at the image forming surface 7a provided with one-dimensional sensors 6a and 6b are (h_L, v_L) , and 2-dimensional coordinates at the image forming surface 7b provided with the one-dimensional optical sensors 6c and 6d are (h_R, v_R) , whereby, when the camera parameter of the image pickup unit having the one-dimensional optical sensors 6a and 6b is C, the camera parameter of the image pickup unit having the one-dimensional optical sensors 6c and 6d is B, and the camera parameters C and B are expressed by the formulas (1) and (2), respectively.

[0023]

[Expression 1]

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} \end{bmatrix} \quad \text{--- (1)}$$

[0024]

[Expression 2]

$$B = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} & B_{14} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} & B_{24} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} & B_{34} \end{bmatrix} \quad \text{--- (2)}$$

[0025] Also, the object coordinates and the 2-dimensional coordinates at the image forming surfaces 7a and 7b can be expressed as follows by using parameters f and g:

$$[fh_L \quad fv_L \quad f]^t = C [x, y, z, 1]^t \quad \text{--- (3)}$$

$$[gh_R \quad gv_R \quad g]^t = B [x, y, z, 1]^t \quad \text{--- (4)}$$

Herein, $[]^t$ indicates transposition of a matrix.

[0026] The straight lines L_1 and L_2 of the mark 3 form a mark image 3a having intersection P_L and straight lines L_{1L} and L_{2L} by being formed at the image forming surface 7a, and form a mark image 3b having intersection P_R and straight lines L_{1R} and L_{2R} by being formed at the image forming surface 7b.

[0027] Fig. 3(a) shows the mark image 3a formed at the image forming surface 7a, and Fig. 3(b) shows the mark image 3b formed at the image forming surface 7b, wherein the straight line L_{1L} of the mark image 3a is restored from the points A_{11} and A_{21} at which the one-dimensional optical sensors 6a and 6b and the mark 3a intersect, and the straight line L_{2L} of the mark image 3a is restored from the points A_{12} and A_{22} at which the one-dimensional optical sensors 6a and 6b and mark image 3a intersect. Likewise, as for the mark image 2b formed at the image forming surface 7b, the straight line L_{1R} of the mark image

3a is restored from the points D_{11} and D_{21} at which the one-dimensional optical sensors 6c and 6d and the mark image 3b intersect, and the straight line L_{2R} of the mark image 3b is restored from the points D_{12} and D_{22} at which the one-dimensional optical sensors 6c and 6d and the mark image 3b intersect.

[0028] Fig. 4 shows the relationship between the positions of the straight lines L_{1L} and L_{2L} of the mark image 3a at the image forming surface 7a and the signal output of the one-dimensional optical sensors 6a and 6b, wherein the straight lines L_1 and L_2 are lines each having a fixed width, and at the portions of their images L_{1L} and L_{2L} , the sensor values decrease. Therefore, as shown in Fig. 5, the position q_{ij} ($i=1$ or 2 , $j=1$ or 2) of the straight line L_{1L} or L_{2L} of the mark image 3a is calculated as, for example, a gravity position of the portion shown by diagonal lines by using proper pixel data near the positions within a range lower than the threshold value I . The gravity position q_{ij} at this time is operated by formula (1), for example.

[0029]

[Expression 3]

$$q_{ij} = \frac{\sum \{q (Db - D(q))\}}{\sum (Db - D(q))} \quad \text{--- (5)}$$

Herein, $D(q)$ shows the output value at the pixel q , and Db shows the background level.

[0030] Also, when the i th one-dimensional optical sensor at the image forming surface 7a is expressed in a 2-dimensional frame of reference as follows:

$$[h_L, v_L]^t = q [a_{Li}, b_{Li}]^t + [c_{Li}, d_{Li}]^t \quad (i=1, 2) \quad \text{--- (6)}$$

(herein, $[a_{Li}, b_{Li}]^t$ shows a directional vector of the size of a pixel pitch, $[c_{Li}, d_{Li}]^t$ shows the center coordinates of the pixel at the end of the one-dimensional optical sensor, and q shows the pixel number), the position of the mark image 3a on the one-dimensional optical sensors 6a and 6b is converted into 2-dimensional coordinates (h_L, v_L) at the image forming surface 7a. Therefore, A_{11} through A_{22} are obtained by substituting q_{11} through q_{22} for the formula (2). And, when A_{ij} is (h_{ij}, v_{ij}) , the equations of the straight lines L_{1L} and L_{2L} at the image forming surface 7a are as follows:

$$L_{1L}: (h_{21} - h_{11}) (v_L - v_{11}) = (v_{21} - v_{11}) (h_L - h_{11}) \quad \text{--- (7)}$$

$$L_{2L}: (h_{22} - h_{12}) (v_L - v_{12}) = (v_{22} - v_{12}) (h_L - h_{12}) \quad \text{--- (8)}$$

As for D_{11} through D_{22} , a similar mathematical operation is performed, whereby the equations of the straight lines L_{1R} and L_{2R} at the image forming surface 7b can be obtained.

[0031] Next, on the basis of the straight lines L_{1L} , L_{2L} , L_{1R} , and L_{2R} of the mark images 3a and 3b calculated by the above processes, the intersection P of the straight lines L_1 and L_2 is calculated. There are some calculation methods, for example,

wherein the equations of the straight lines L_1 and L_2 of the mark 3 in the object frame of reference are calculated, and their intersection can be operated. However, due to reading errors by the image pickup element and model errors when picking-up the image, the straight lines L_1 and L_2 to be operated may have a skewed relationship. In such a case, it is also considered that the middle point on the straight lines L_1 and L_2 in a condition where the straight lines L_1 and L_2 are closest to each other is defined as the intersection P.

[0032] As another method for calculating the position of the intersection P of the straight lines L_1 and L_2 of the mark 3, from the intersection P_L of the straight lines L_{1L} and L_{2L} and the intersection P_R of the straight lines L_{1R} and L_{2R} in the 2-dimensional frame of reference of the image forming surfaces 7a and 7b, on the basis of the principle of triangulation, the intersection P is calculated. Hereinafter, a method for operating the intersection P on the basis of the principle of triangulation shall be described.

[0033] First, formula (3), which is a relational equation of the object coordinates of the object surface 2 and the 2-dimensional coordinates of the image forming surfaces 7a and 7b, is expanded.

$$fh_L = C_{11} x + C_{12} y + C_{13} z + C_{14} \text{ --- (9)}$$

$$fv_L = C_{21} x + C_{22} y + C_{23} z + C_{24} \text{ --- (10)}$$

$$f = C_{31} x + C_{32} y + C_{33} z + C_{34} \text{ --- (11)}$$

From (9)-f×(11) and (10)-f×(11), the following formulas are obtained:

$$0 = (C_{11} - C_{31} h_L) x + (C_{12} - C_{32} h_L) y + (C_{13} - C_{33} h_L) z + (C_{14} - C_{34} h_L) \text{ --- (12)}$$

$$0 = (C_{21} - C_{31} v_L) x + (C_{22} - C_{32} v_L) y + (C_{23} - C_{33} v_L) z + (C_{24} - C_{34} v_L) \text{ --- (13)}$$

Also, formula (4) is expanded:

$$gh_R = B_{11} x + B_{12} y + B_{13} z + B_{14} \text{ --- (14)}$$

$$gv_R = B_{21} x + B_{22} y + B_{23} z + B_{24} \text{ --- (15)}$$

$$g = B_{31} x + B_{32} y + B_{33} z + B_{34} \text{ --- (16)}$$

From (14)-g×(16) and (15)-g×(16), the following formulas are obtained:

$$0 = (B_{11} - B_{21} h_R) x + (B_{12} - B_{32} h_R) y + (B_{13} - B_{33} h_R) z + (B_{14} - B_{34} h_R) \text{ --- (17)}$$

$$0 = (B_{11} - B_{21} v_R) x + (B_{22} - B_{32} v_R) y + (B_{23} - B_{33} v_R) z + (B_{24} - B_{34} v_R) \text{ --- (18)}$$

Among formulas (12), (13), (17), and (18), for example, by using formulas (12), (13), and (17), the following formulas are obtained:

[0034]

[Expression 4]

$$F = \begin{bmatrix} C_{34}h_L - C_{14} \\ C_{34}v_L - C_{24} \\ B_{34}h_R - B_{14} \end{bmatrix}, \quad V = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

[0035]

[Expression 5]

$$Q = \begin{bmatrix} C_{11} - C_{31}h_L & C_{12} - C_{32}h_L & C_{13} - C_{33}h_L \\ C_{21} - C_{31}v_L & C_{22} - C_{32}v_L & C_{23} - C_{33}v_L \\ B_{11} - B_{31}h_R & B_{12} - B_{32}h_R & B_{13} - B_{33}h_R \end{bmatrix}$$

whereby,

$$F = QV \text{ --- (19), and}$$

when (h_L, v_L) are the coordinates of P_L , and (h_R, v_R) are the coordinates of P_R , if an inverse matrix of Q exists,

$$V = Q^{-1} F \text{ --- (20),}$$

therefore, the 3D position of the intersection P can be calculated.

[0036] There are four patterns for selecting three formulas on the basis of formulas (12), (13), (17), and (18), however, formula (20) is operated for each formula, and at last, the average of the 4 patterns is calculated, whereby the intersection P can be calculated.

[0037] Next, a method for calculating the 3D posture of the measuring object 1 shall be described. The 3D posture of the measuring object can be expressed by means of roll, pitch, yaw,

and Eulerian angle, etc., and calculated by specifying the directional vector r_1 of the straight line L_1 and the directional vector r_2 of the straight line L_2 of the mark 3. Hereinafter, the method for calculating the directional vectors r_1 and r_2 is described.

[0038] In Fig. 2, plane F_{1L} is a plane which passes through a lens principal point O_L and includes the straight line L_{1L} of the mark image 3a and straight line L_1 of the mark 3, plane F_{2L} is a plane which passes through the lens principal point O_L and includes the straight line L_{2L} of the mark image 3a and the straight line L_2 of the mark 3, plane F_{1R} is a plane which passes through the lens principal point O_R and includes the straight line L_{1R} of the mark image 3b and the straight line L_1 of the mark 3, and plane F_{2R} is a plane which passes through the lens principal point O_R and includes the straight line L_{2R} of the mark image 3b and the straight line L_2 of the mark 3. To calculate the directional vector r_1 , an equation of the plane F_{1L} is calculated.

[0039] First, when f is eliminated from formula (3),

$$h_L = (C_{11} x + C_{12} y + C_{13} z + C_{14}) / (C_{31} x + C_{32} y + C_{33} z + C_{34}) \quad \text{--- (21)}$$

$$v_L = (C_{21} x + C_{22} y + C_{23} z + C_{24}) / (C_{31} x + C_{32} y + C_{33} z + C_{34}) \quad \text{--- (22)}$$

and if these values are substituted for formula (7) of the straight line L_{1L} of the mark image 3a,

$$F_{1L}: a_{1L} x + b_{1L} y + c_{1L} z + d_{1L} = 0 \text{ --- (23)}$$

$$a_{1L} x = n_1 (C_{21} - v_{11} C_{31}) - m_1 (C_{11} - h_{11} C_{31})$$

$$b_{1L} y = n_1 (C_{22} - v_{11} C_{32}) - m_1 (C_{12} - h_{11} C_{32})$$

$$c_{1L} z = n_1 (C_{23} - v_{11} C_{33}) - m_1 (C_{13} - h_{11} C_{33})$$

$$d_{1L} = n_1 (C_{24} - v_{11} C_{34}) - m_1 (C_{14} - h_{11} C_{34})$$

$$n_1 = h_{21} - h_{11}$$

$$m_1 = v_{21} - v_{11}$$

whereby, the normal vector f_{1L} of the plane F_{1L} can be calculated to be (a_{1L}, b_{1L}, c_{1L}) . By performing a similar mathematical operation, the normal vectors f_{2L} , f_{1R} , and f_{2R} of the planes F_{2L} , F_{1R} , and F_{2R} can be calculated.

[0040] Since the straight line L_1 of the mark 3 is the intersecting line of the plane F_{1L} and plane F_{1R} , the directional vector r_1 is perpendicular to the normal vectors f_{1L} and f_{1R} of the planes F_{1L} and F_{1R} , the r_1 is calculated as follows:

$$r_1 = f_{1L} \times f_{1R} \text{ --- (24)}$$

and likewise, since the straight line L_2 of the mark 3 is the intersecting line of the planes F_{2L} and F_{2R} , the directional vector r_2 is perpendicular to the normal vectors f_{2L} and f_{2R} of the planes F_{2L} and F_{2R} , r_2 is calculated as follows:

$$r_2 = f_{2L} \times f_{2R} \text{ --- (25)}$$

Also, since the normal vector q of the object surface 2 is perpendicular to the directional vectors r_1 and r_2 , q is calculated as follows:

$$q = r_1 \times r_2 \text{ --- (26)}$$

[0041] Next, on the basis of the normal vector q of the object surface 2 and the directional vector r_1 of the straight line L_1 calculated in the above processes, the process for operating the 3D posture (roll, pitch, and yaw) of the measuring object 1 is described below.

[0042] If the posture of the mark 3 when the unit vector r_{1e} (r_{1x} , r_{1y} , r_{1z}) ($r_{1x} > 0$) of the directional vector r_1 becomes parallel to the x axis, and the unit normal vector q_e (q_x , q_y , q_z) ($q_z > 0$) of the normal vector q becomes parallel to the z axis is defined as a reference posture, the following relational equation can be obtained.

$$r_{1x} = \cos(\theta_r) \cos(\theta_p) \text{ --- (27)}$$

$$r_{1y} = \sin(\theta_r) \cos(\theta_p) \text{ --- (28)}$$

$$r_{1z} = -\sin(\theta_p) \text{ --- (29)}$$

$$q_x = \cos(\theta_r) \sin(\theta_p) \cos(\theta_y) + \sin(\theta_r) \sin(\theta_y) \text{ --- (30)}$$

$$q_y = \sin(\theta_r) \sin(\theta_p) \cos(\theta_y) - \cos(\theta_r) \sin(\theta_y) \text{ --- (31)}$$

$$q_z = \cos(\theta_p) \cos(\theta_y) \text{ --- (32)}$$

By transforming formula (29), the pitch θ_p can be calculated as follows:

$$\theta_p = -\sin^{-1} (r_{1z}) \text{ --- (33)}$$

From formulas (27) and (28), the roll θ_r can be calculated as follows:

$$\theta_r = \tan^{-1} (r_{1y}/r_{1x}) \text{ --- (34)}$$

And furthermore, formula (32) is transformed:

$$\cos(\theta_y) = q_z / \cos(\theta_p) \text{ --- (35)}$$

And, by substituting formula (35) for formula (30), and by substituting the pitch θ_p calculated by formula (33) and roll θ_r calculated by formula (34), the yaw θ_y can be calculated as follows:

$$\theta_y = \sin^{-1} \{ (q_x - q_z \cdot \cos(\theta_y) \tan(\theta_p)) / \sin(\theta_r) \} \text{ --- (36)}$$

[0043] Fig. 6 is a flow chart showing the mathematical operation processing process in the processor 16, wherein the position of the mark 3 can be calculated by steps S_1 , S_2 , S_3 , S_4 , and S_5 , and the posture of the mark 3 can be calculated by steps S_1 , S_2 , S_3 , S_6 , S_7 , S_8 , and S_9 .

[0044] In the form of mark 3, as shown in Fig. 7(a), the straight lines L_1 and L_2 are apart from each other, and on their extending lines, an intersection (not illustrated) can be provided, or as shown in Fig. 7(b), the straight lines can intersect each

other. Also, since the straight lines L_1 and L_2 of the mark 3 are only detected at the reading lines 18a and 18b by the one-dimensional optical sensors as straight lines, as shown in Fig. 7(c), the lines can be discontinuous. Also, as shown in Fig. 7(d), the mark can be formed so that the straight lines L_1 and L_2 are hollowed. Also, as shown in Fig. 7(e), the mark 3 can be formed so that the outline is used as the straight lines L_1 and L_2 . Also, the mark 3 can be formed so as to be provided with a groove and convex part. Also, a linear light source can be used, and fluorescent paint can be applied on the mark. Also, if the measuring object 1 is light transmittable, the mark 3 can be formed from a material which differs in light transmittance from the measuring object. Furthermore, if the object to be measured is a thin member like a plate, an opening is provide in place of the mark 3 to sandwich the measuring object 1, and leaked light which is radiated from the opposite side of the image pickup unit 5 is detected.

[0045] In Fig. 8, the outline of the mark shown in Fig. 7(e) is defined as the straight lines L_1 and L_2 , and their images are picked-up by an image pickup unit (not illustrated), and used as the mark image 3a comprising two straight lines L_{1L} and L_{2L} having intersection P_L , and by setting predetermined threshold value I to the signal output levels of the one-

dimensional optical sensors 6a and 6b, the straight line positions q_{11} through q_{22} of the mark image 3a are detected. Since parts which are commonly used in Fig. 4 are attached with common reference numbers and reference symbols, overlapping descriptions thereof are omitted.

[0046] In Fig. 9, the image of the measuring object 1 having the linear edges L_1 and L_2 which are not parallel to each other is arranged so as to be picked-up by the image pickup units 5a and 5b, wherein the edge images L_{1L} , L_{2L} , L_{1R} , and L_{2R} are detected by the one-dimensional optical sensors 6a, 6b, 6c, and 6d, whereby the edges L_1 and L_2 of the measuring object 1 can be made to take the place of the mark.

[0047] Figs. 10 show modified examples of the disposition of the one-dimensional optical sensors 6a and 6b at the image forming surface 7, wherein the one-dimensional optical sensors 6a and 6b can be disposed not parallel to each other as shown in (a), or the sensors can be disposed orthogonal to each other as shown in (b).

[0048] Figs. 11 show other modified examples of the disposition of the one-dimensional optical sensors 6a and 6b. In (a), the image of the straight line L_{1L} is formed at the one-dimensional optical sensors 6a and 6b, and the image of the straight line L_{2L} is formed at the one-dimensional optical sensors 6b and 6c.

In (b), the image of the straight line L_{1L} is formed at the one-dimensional optical sensors 6a and 6b, and the image of the straight line L_{2L} is formed at the one-dimensional optical sensors 6c and 6d. In (c), the image of the straight line L_{1L} is formed at the one-dimensional optical sensors 6a and 6b, and the image of the straight line L_{2L} is formed at the one-dimensional optical sensors 6b and 6c. In (d), the intersection P_L is positioned within a range formed by the one-dimensional optical sensors 6a and 6b. On the other hand, in (b), the intersection P_L is positioned outside the range formed by the one-dimensional optical sensors 6a and 6b.

[0049] Fig. 12 shows a modified example of the 3D position and posture measuring device by which the mark image 3a formed by the image forming lens 4a and the mark image 3b formed by the image forming lens 4b are detected by the one-dimensional optical sensors 6a and 6b provided at the image forming surface 7. Since the parts commonly used in Fig. 1 are attached with common reference numbers and reference symbols, overlapping descriptions thereof are omitted.

[0050] Next, detecting precision of the intersection P_L of the straight lines L_1 and L_2 of the mark image 3a is examined. For example, as shown in Fig. 13, in the 2-dimensional frame of reference at the image forming surface 7a, as for the one-

dimensional optical sensors 6a and 6b, $v_L = 1$ and $v_L = -1$, respectively, the intersection of the straight lines L_{1L} and L_{2L} is $(0, w)$, an angle between the straight line L_{1L} and the one-dimensional optical sensor 6b is 45° , and an angle between the straight lines L_{1L} and L_{2L} is 90° , whereby detecting errors of the coordinates (h_L, v_L) of the intersection P_L at this time are examined.

[0051] When the detecting errors of the straight lines L_{1L} and L_{2L} by the one-dimensional optical sensors 6a and 6b are at an average of 0 and follow the regular distribution of standard deviation σ_s , if the detecting errors of the coordinates (h_L, v_L) of the intersection P_L are simulated, their standard deviations σ_h and σ_v are approximated as follows:

[0052]

[Expression 6]

$$\frac{\sigma_h}{\sigma_s} = \frac{\sigma_v}{\sigma_s} = \frac{\sqrt{w^2 + 1}}{2}$$

[0053] A graph thereof is shown in Fig. 14. When $w=0$, that is, the closer the intersection P_L to the center of the one-dimensional optical sensors 6a and 6b, the higher the detecting precision. Even when the inclination of the straight line L_{1L} and the value of the angle between the straight lines L_{1L} and L_{2L} are different, although the absolute values of the

deviations σ_h and σ_v are different, the characteristic, in that the closer the intersection P_L to the center of the one-dimensional optical sensors 6a and 6b, the higher the detecting precision, is maintained. Likewise, even when the one-dimensional optical sensors 6a and 6b are not parallel to each other, the more relatively inner the position of the intersection P_L of the straight lines L_{1L} and L_{2L} , the higher the detecting precision. This fact is confirmed by the simulation.

[0054] Next, as shown in Fig. 15, in the 2-dimensional frame of reference at the image forming surface 7a, the detecting precision of the coordinates (h_L, v_L) of the intersection P_L , when $v_L = 1$, $h_L = -1$, and $h_L = 1$ in the one-dimensional optical sensors 6a, 6b, and 6c, the intersection of the straight lines L_{1L} and L_{2L} is $(0, w)$, the angle between the straight line L_{1L} and the one-dimensional optical sensor 6a is 45° , and the angle between the straight lines L_{1L} and L_{2L} is 90° , is inspected.

[0055] When the detecting errors of the positions of the straight lines L_{1L} and L_{2L} by the one-dimensional optical sensors 6a, 6b, and 6c follow the average of 0 and the regular distribution of the standard deviation σ_s , the detecting errors of the coordinates (h_L, v_L) of the intersection P_L are simulated.

[0056] Fig. 16 shows the standard deviations σ_h and σ_v . Also in this case, the more inner the position of the intersection P_L of the straight lines L_{1L} and L_{2L} , the higher the detecting precision.

[0057] As described above, even in a case where the number of one-dimensional optical sensors is 1, 2, or 3, in order to increase the detecting precision of the intersection position of the straight lines of the mark image, as shown in Figs. 11(c) and (d), the mark image and the one-dimensional optical sensors must be set so that the intersection of the straight lines of the mark image is positioned inside the one-dimensional optical sensors. Also, in the operation of the 3D position, since the data of the intersection position of the left and right mark images is used, in order to increase the measuring precision, it is desirable the mark and one-dimensional optical sensors are disposed so that the intersection of the straight lines of the mark images are positioned inside the range surrounded by the one-dimensional optical sensors.

[0058] Fig. 17 shows a 3D position and posture measuring device in the second embodiment of the invention, wherein this 3D position and posture measuring device is made from a light transmittable material, and comprises measuring object 1 in which mark 3 having straight lines L_1 and L_2 forming intersection

P is formed at the object surface 2, light sources 21a and 21b which radiates light from two directions toward the measuring object 1, one-dimensional image input part 19 in which one-dimensional optical sensors 6a and 6b are disposed parallel to each other at light receiving surface 20, and operation part 9 for operating the 3D position and posture of the mark 3 on the basis of the one-dimensional image data outputted from the one-dimensional optical sensors 6a and 6b.

[0059] The mark 3 is only arranged so as to be different in transmittance from the measuring object 1, and so that its position is detected by the one-dimensional optical sensors 6a and 6b as a change in distribution of light intensity, and, for example, the mark is formed by being applied with paint whose transmittance is low. The light sources 21a and 21b radiate light radiated from lamps 22a and 22b toward the measuring object 1 by light projecting lenses 23a and 23b as parallel light. The one-dimensional image input part 19 receives mark images 3a and 3b formed by light radiated from the light sources 21a and 21b at the light receiving surface 20. The one-dimensional optical sensors 6a and 6b provided at the light receiving surface 20 are disposed so as to be traversed by the straight lines L_{1L} , L_{2L} , L_{1R} , and L_{2R} of the projected mark images 3a and 3b. The operation part 9 is a

microcomputer, etc., equipped with an interface function with the one-dimensional image input part. Also, since the system block diagram of the 3D position and posture measuring device in the second embodiment is in common with Fig. 12, overlapping description thereof is omitted.

[0060] Next, the method for operating the 3D position and posture by the 3D position and posture measuring device of the second embodiment shall be described.

[0061] Fig. 18 shows the positional relationship between the measuring object 1 with mark 3 formed and the light receiving surface 20 provided with the one-dimensional optical sensors 6a and 6b in the 3D frame of reference, and the xy plane is defined above the light receiving surface 20. Based on the light radiated from the light sources 21a and 21b (both unillustrated), the directions of the mark images 3a and 3b projected onto the light receiving surface 20 are defined parallel to the directional vectors $k (k_x, k_y, k_z)$ and $m (m_x, m_y, m_z)$.

[0062] Next, an equation of the straight lines L_{1L} , L_{2L} , L_{1R} , and L_{2R} of the projected mark images 3a and 3b is provided. As shown in Fig. 4, the one-dimensional optical sensors 6a and 6b output detecting signals in accordance with the light intensity at the position intersecting with the straight lines

L_{1L} , L_{2L} , L_{1R} , and L_{2R} of the mark images 3a and 3b. On the basis of the detecting signals of the optical sensors 6a and 6b, the equation of the straight lines of the one-dimensional optical sensors of the light receiving surface 20 and the positions A_{11} through A_{22} and D_{11} through D_{22} intersecting with the straight lines L_{1L} , L_{2L} , L_{1R} , and L_{2R} are calculated, whereby the straight line L_{1L} is restored from the A_{11} and A_{22} , the straight line L_{2L} is restored from the A_{12} and A_{22} , the straight line L_{1R} is restored from D_{11} and D_{21} , and the straight line L_{2R} is restored from D_{12} and D_{22} .

[0063] Next, from the restored straight lines L_{1L} , L_{2L} , L_{1R} , and L_{2R} , the intersection $P(x, y, z)$ of the straight lines L_1 and L_2 of the mark 3 at the object surface 2 is calculated. First, when the intersection of the straight lines L_{1L} and L_{2L} of the mark image 3a is $P_L(x_L, y_L)$, and the intersection of the straight lines L_{1R} and L_{2R} of the mark image 3b is $P_R(x_R, y_R)$, since the directional vector k and the vector PP_L are parallel to each other, the following relational formulas are obtained:

$$k_z / k_x = z / (x - x_L) \quad \text{--- (37)}$$

$$k_z / k_y = z / (y - y_L) \quad \text{--- (38)}$$

Also, since the directional vector m and the vector PP_R are parallel to each other, the following relational formulas are obtained:

$$m_z / m_x = z / (x - x_R) \text{ --- (39)}$$

$$m_z / m_y = z / (y - y_R) \text{ --- (40)}$$

When simultaneous equations of the formulas (37), (38), (39), and (40) are calculated, the following formulas are obtained:

$$x = (k_x \cdot m_z \cdot x_R - k_z \cdot m_x \cdot x_L) / (k_x \cdot m_z - k_z \cdot m_x) \text{ --- (41)}$$

$$y = (k_y \cdot m_z \cdot x_R - k_z \cdot m_y \cdot x_L) / (k_y \cdot m_z - k_z \cdot m_y) \text{ --- (42)}$$

$$z = (k_z \cdot m_z (x_R - x_L) / (k_x \cdot m_z - k_z \cdot m_x) \text{ --- (43)}$$

or

$$z = (k_z \cdot m_z (x_R - x_L) / (k_y \cdot m_z - k_y \cdot m_x) \text{ --- (44)}$$

whereby, the position of the intersection P is calculated.

[0064] Next, the method for calculating the posture of the mark 3 is described below. When the directional vectors of the straight lines L_{1L} , L_{2L} , L_{1R} , and L_{2R} of the mark images 3a and 3b are t_{1L} , t_{2L} , t_{1R} , and t_{2R} , respectively, the normal vector q of the object surface 2, directional vector r_1 of the straight line L_1 of the mark 3, and directional vector r_2 of the straight line L_2 of the mark 3 are calculated by the following formulas:

$$r_1 = (t_{1L} \times k) \times (t_{1R} \times m) \text{ --- (44)}$$

$$r_2 = (t_{2L} \times k) \times (t_{2R} \times m) \text{ --- (45)}$$

$$q = r_1 \times r_2 \text{ --- (46)}$$

[0065] Furthermore, when the normal vector is q (q_x , q_y , q_z) ($q_z > 0$), the directional vector r_1 of the straight line L_1 of the mark 3 is (r_{1x} , r_{1y} , r_{1z}) ($r_{1y} > 0$), the normal vector q is

parallel to the z axis, and the posture of the mark 3 when the straight line L_1 of the mark 3 is parallel to the y axis is a reference posture, the inclinations about the respective axes of coordinates can be calculated by the formulas (21), (22), and (23) shown in the first embodiment.

[0066] Fig. 19 is a flow chart showing the operating process of the operation part 9, wherein the position of the mark 3 can be calculated in steps S_1 , S_2 , S_3 , S_4 , and S_5 , and the posture of the mark 3 can be calculated in steps S_1 , S_2 , S_3 , S_6 , S_7 , and S_8 .

[0067] In the above embodiments, in a case where reflected light is used for the measuring object 1, or light transmitted through the measuring object 1 is used, the object surface 1 onto which the mark is formed must be a plane within the range detected by the one-dimensional optical sensors. However, even when the object surface is not completely a plane, for example, even when it is a gently curved surface, with precision in accordance with the curving degree, the 3D position and posture can be measured.

[0068]

[Effects of the Invention] As described above, according to the 3D position and posture measuring mark, and 3D position and posture measuring method and device of the invention, since

the 3D position and posture are operated on the basis of at least two mark images detected by at least two one-dimensional optical sensors in accordance with a mark which is provided on the object surface and includes at least two line segments not parallel to each other forming one intersection, the 3D position and posture measuring device can be simplified and reduced in cost.

[BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS]

[Fig. 1] An explanatory view showing the 3D position and posture measuring device in the first embodiment of the invention.

[Fig. 2] An explanatory view showing the relationship between the object frame of reference and two-dimensional frame of reference at the image forming surface.

[Figs. 3] Explanatory views showing the mark images formed at the image forming surfaces.

[Fig. 4] An explanatory view showing the relationship between the one-dimensional optical sensors at the image forming surfaces and the positions of the straight lines of the mark images in the first embodiment.

[Fig. 5] An explanatory view of the calculation of the center of gravity in the first embodiment.

[Fig. 6] A flow chart in order to operate the 3D position and posture in the first embodiment.

[Figs. 7] Explanatory views showing modified examples of the mark in the first embodiment.

[Fig. 8] An explanatory view showing a modified example in which the outline of the mark is used as straight lines in the first embodiment.

[Fig. 9] An explanatory view showing the positional relationship between the one-dimensional optical sensors and the straight lines of the mark images at the image forming surfaces in the modified example in which the edge of the measuring object is used as a mark.

[Figs. 10] (a) and (b) are explanatory views showing modified examples of the disposition of the one-dimensional optical sensors at the image forming surfaces.

[Figs. 11] (a) through (d) are explanatory views showing the modified examples of the mark reading form.

[Fig. 12] An explanatory view showing a modified example of the image pickup unit.

[Fig. 13] An explanatory view showing the positional relationship between the position of the intersection of the straight lines of the mark images and the standard deviation of an intersection position detecting error in Fig. 13.

[Fig. 15] An explanatory view showing the positional relationship between the position of the intersection of the

straight lines of the mark images and the three one-dimensional optical sensors.

[Fig. 16] A graph of the standard deviation between the intersection position of the straight lines of the mark images and the intersection position detecting error in Fig. 15.

[Fig. 17] An explanatory view showing the 3D position and posture measuring device in the second embodiment of the invention.

[Fig. 18] An explanatory view showing the positional relationship between the one-dimensional optical sensors of the light receiving surface and the straight lines of the mark images in the second embodiment.

[Fig. 19] A flow chart in order to operate the 3D position and posture in the second embodiment.

[Description of Symbols]

- 1 measuring object
- 2 object surface
- 3 mark
- 3a, 3b mark images
- 4a, 4b image forming lenses
- 5a, 5b image pickup units
- 6a, 6b, 6c, 6d one-dimensional optical sensors
- 7a, 7b image forming surfaces

9 operation part
10 synchronization signal generator
11a, 11b, 11c, 11d drive circuits
12a, 12b, 12c, 12d amplifiers
13a, 13b, 13c, 13d A/D converters
14 memory
15 memory control circuit
16 processor
17 display
18a, 18b, 18c reading lines
19 one-dimensional image input part
20 light receiving surface
 L_1, L_2 straight lines of the mark
 L_1, L_2 straight lines of the mark images
P intersection of the mark
P' intersection of the mark images

Fig.2

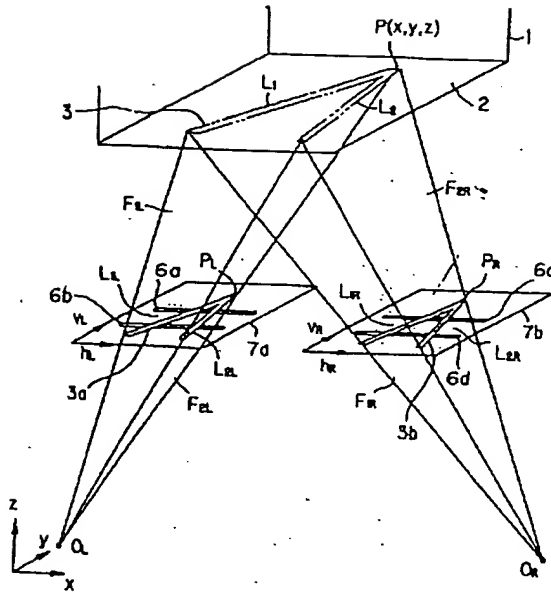


Fig.3

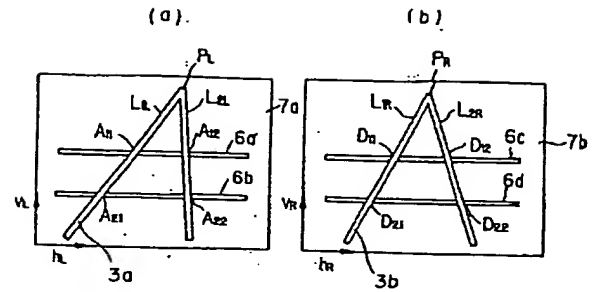


Fig.10

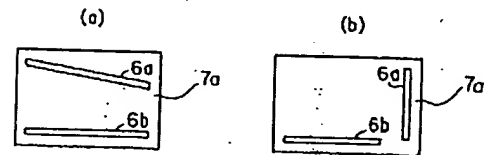


Fig.4

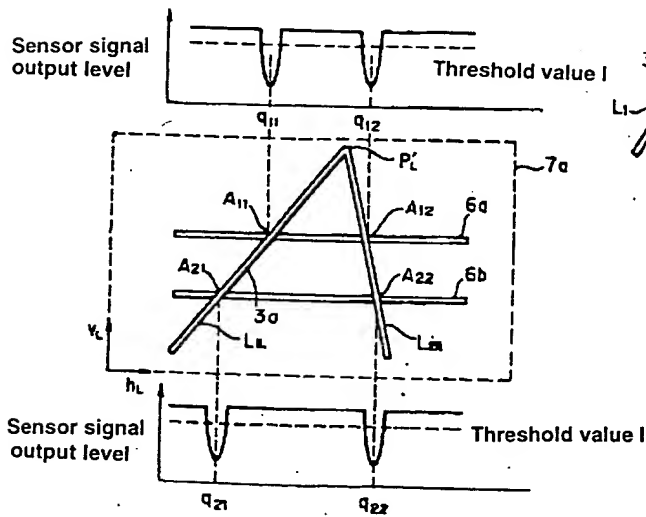


Fig.7

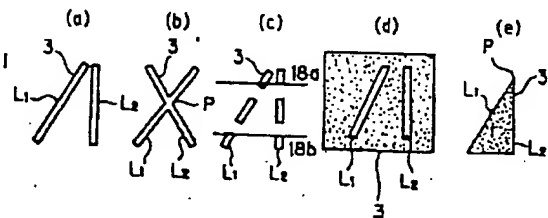


Fig.1

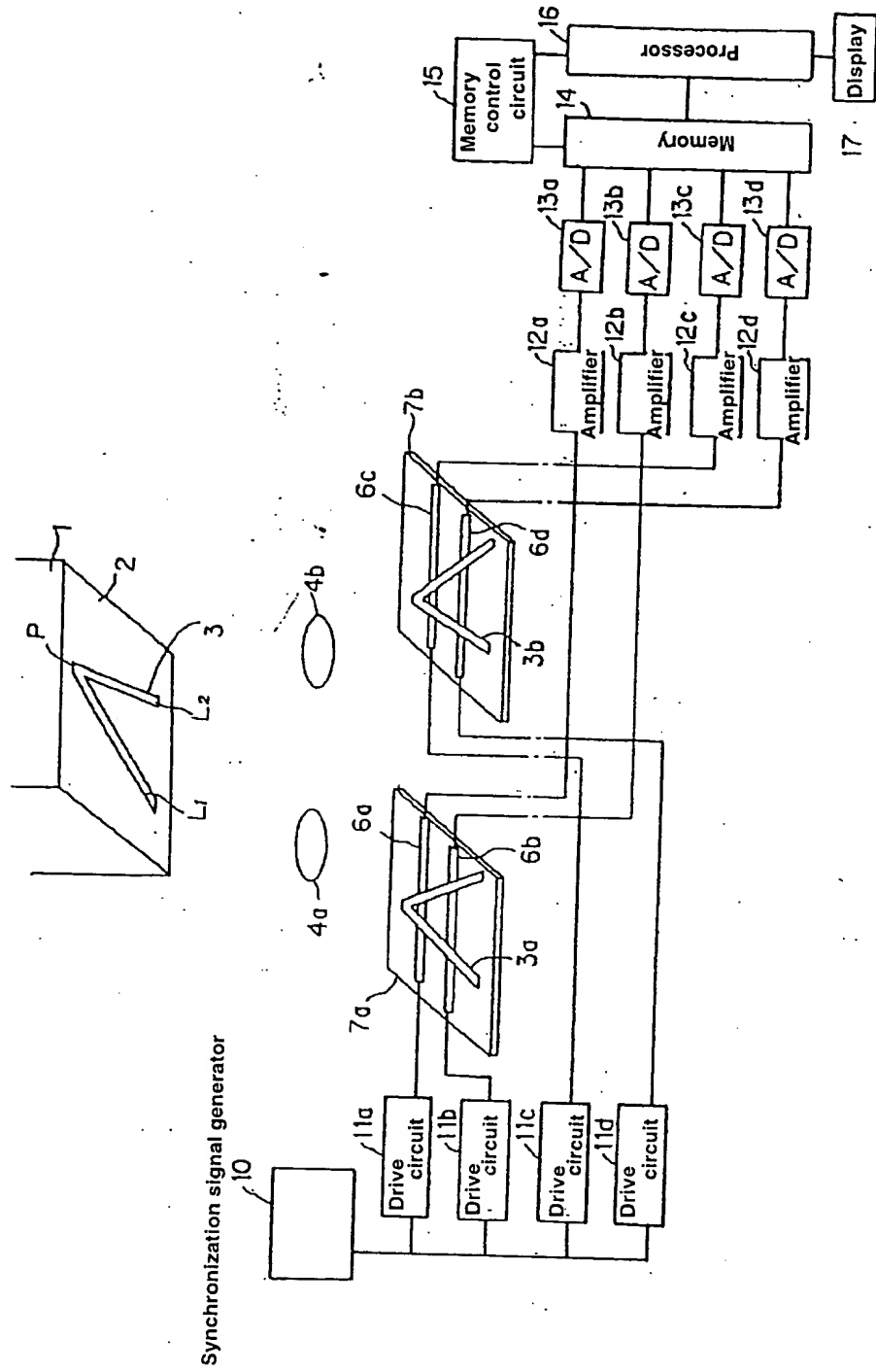


Fig.5

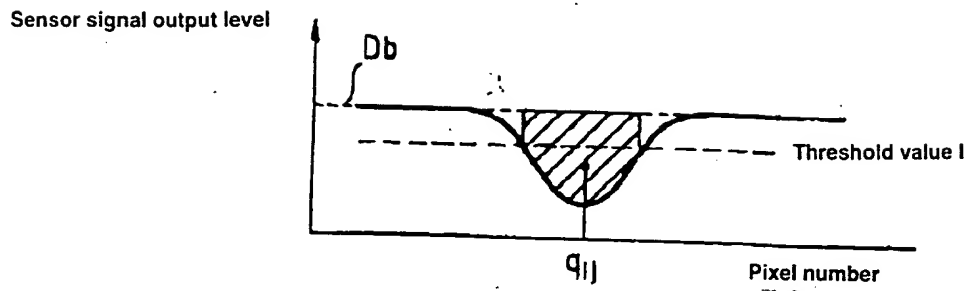


Fig.8

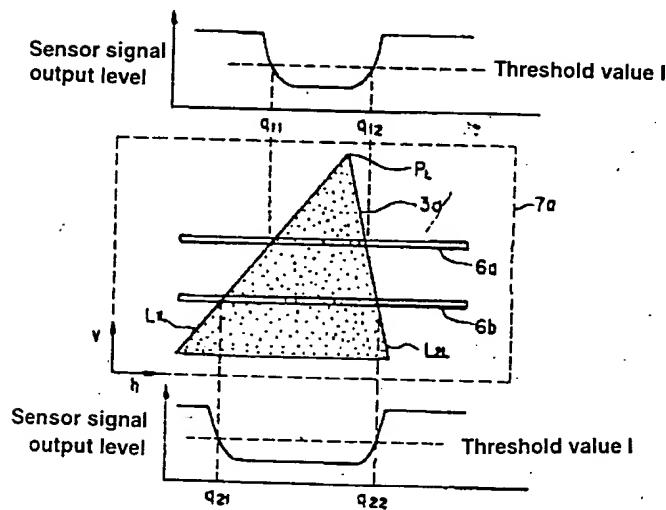


Fig.9

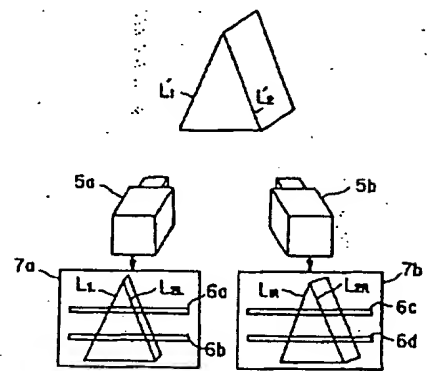


Fig.11

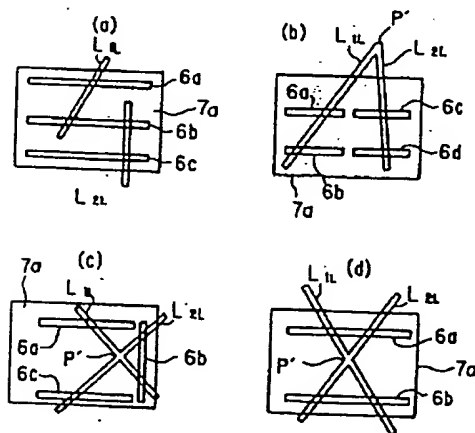
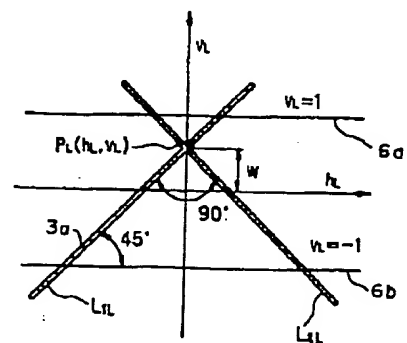


Fig.13



[Fig. 6]

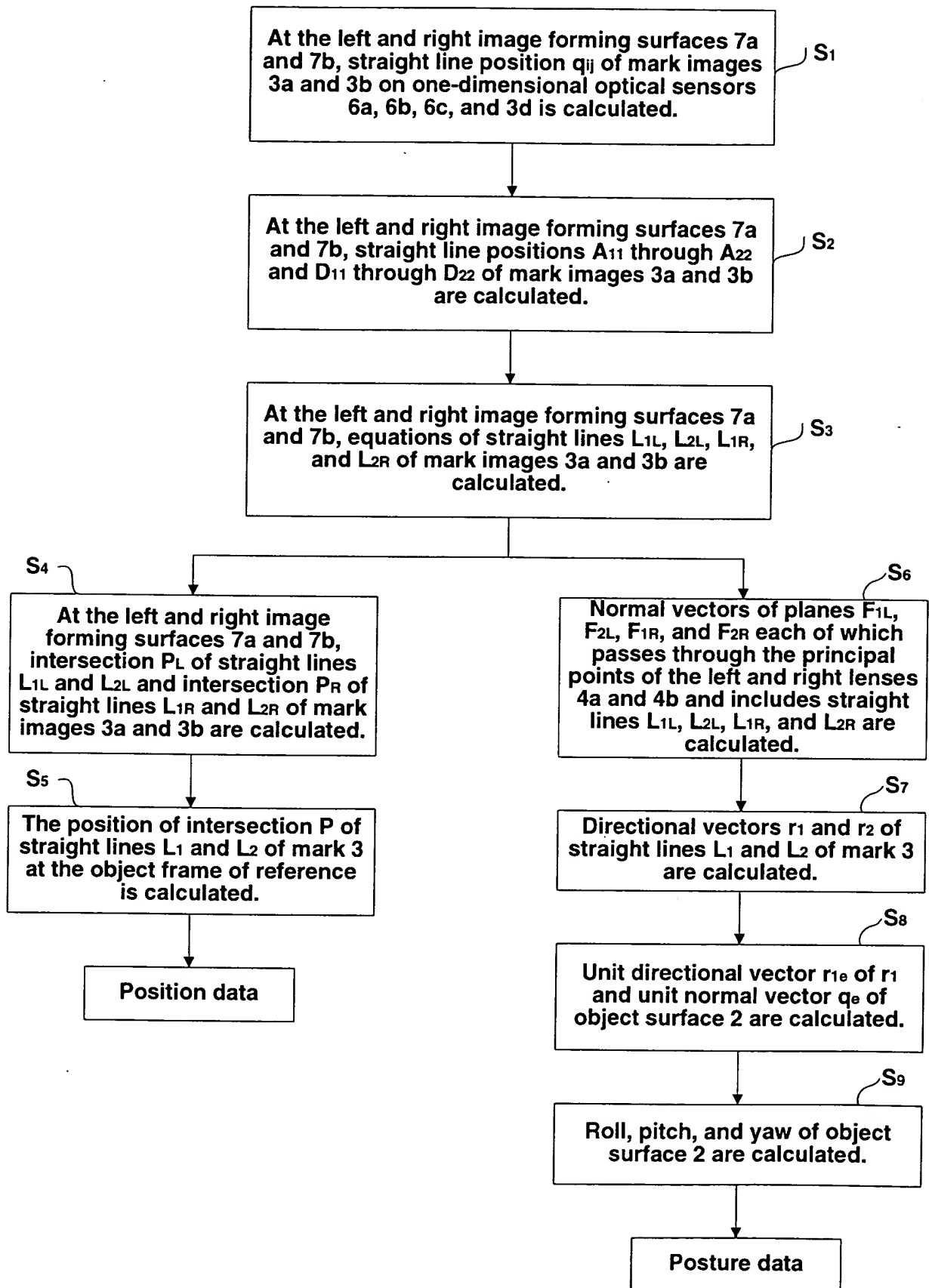


Fig.12

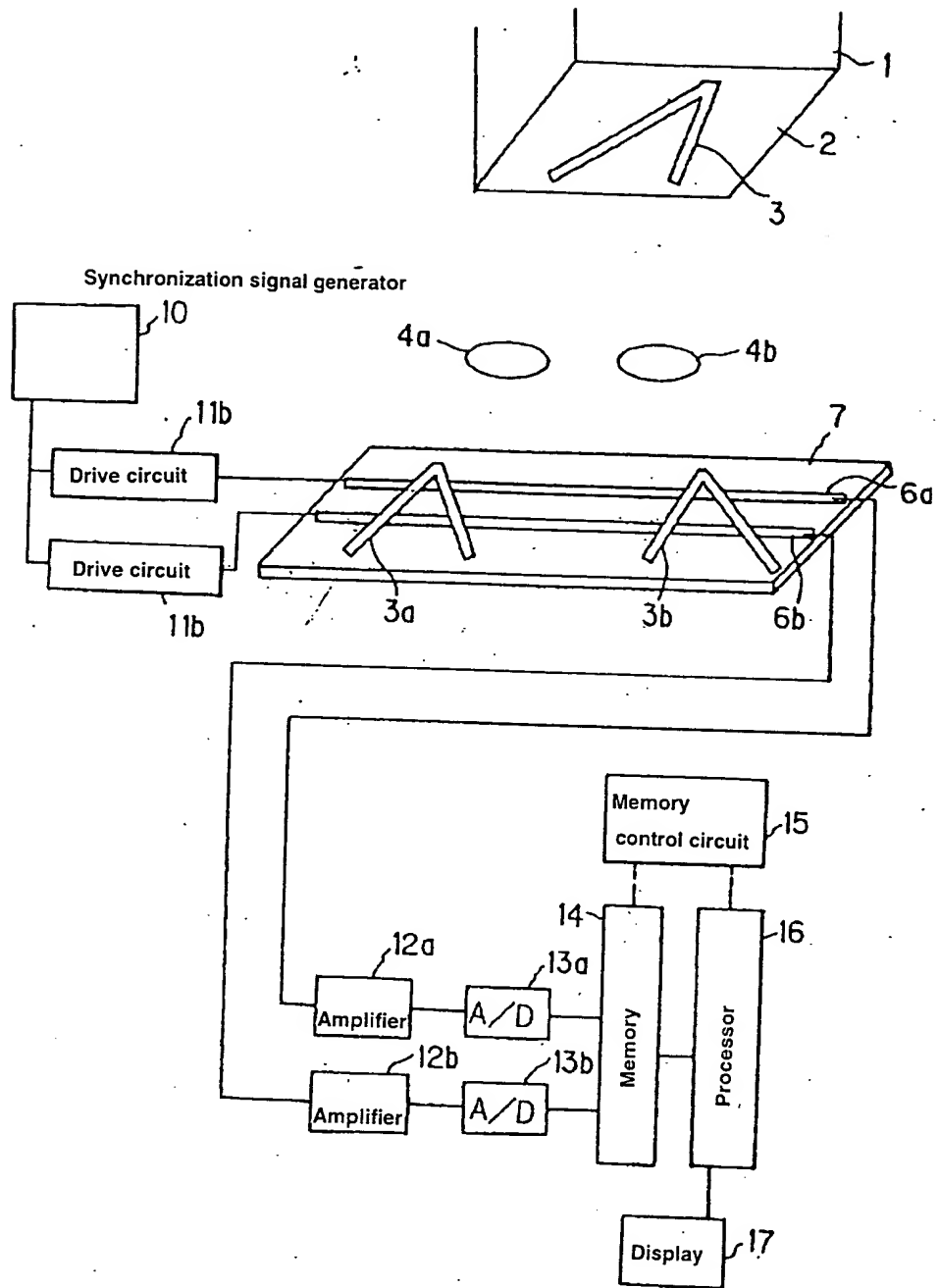


Fig.14

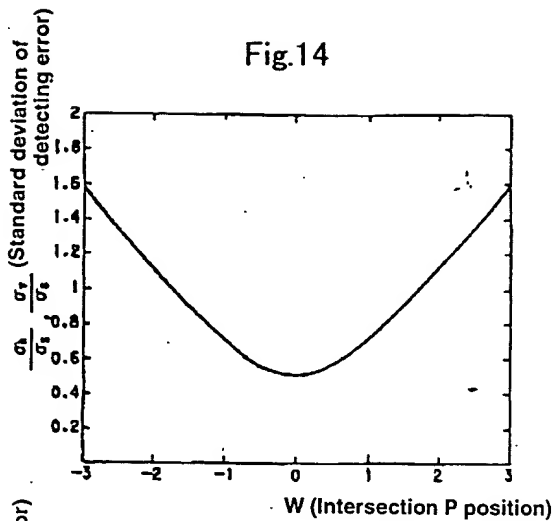


Fig.16

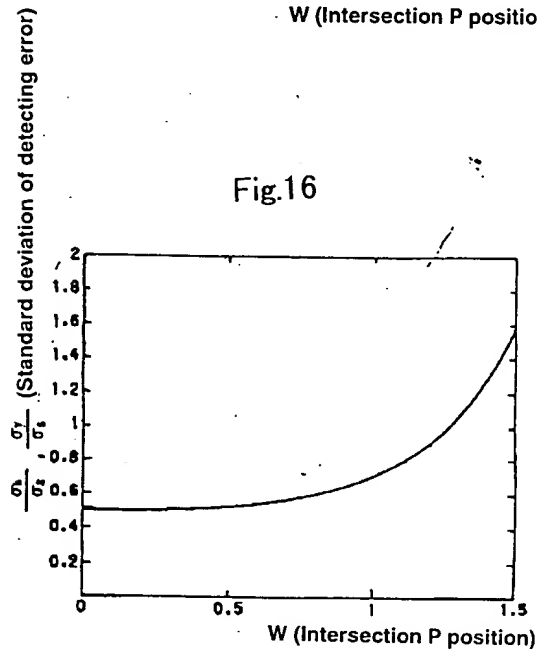


Fig.18

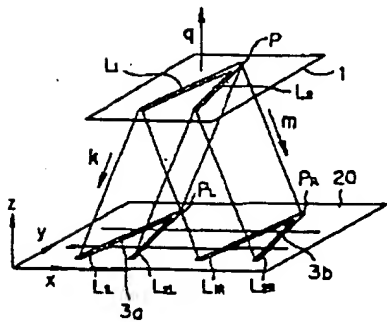


Fig.15

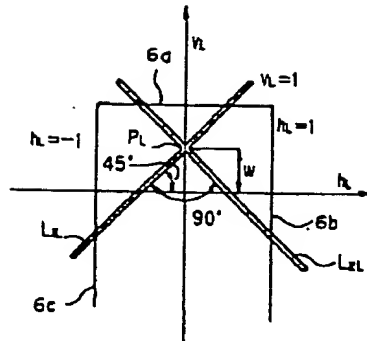
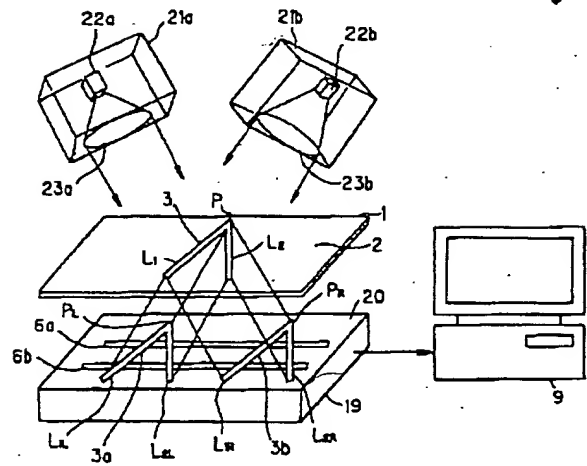


Fig.17



[Fig. 19]

